



Pedro Filipe Mira Rodrigues

**Contributos para a avaliação do
potencial de produção de energia em
contexto urbano – Caso de Beja,
Portugal**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Miguel P. Amado, Professor
Associado, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Válder José da Guia Lúcio

Arguente: Prof. Doutor Daniel Aelenei

Vogal: Prof. Doutor Miguel José das Neves Pires Amado



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2012

‘Copyright’ Pedro Filipe Mira Rodrigues, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Miguel Pires Amado, pela excelência da sua orientação, por todo o apoio, disponibilidade e paciência demonstrados, assim como pelas críticas, correcções e sugestões de que pude beneficiar ao longo da realização do presente trabalho.

À Engenheira Francesca Poggi, pela amável disponibilidade em partilhar conhecimentos e informações essenciais para uma correcta análise do caso de estudo.

Ao Engenheiro Anselmo Correia, da Câmara Municipal de Beja, pelos dados facultados, de grande importância para a realização deste trabalho.

Ao Grupo Rolear, em particular ao Engenheiro Cristiano Parreira, pela disponibilidade em prestar esclarecimentos de grande relevância para o caso de estudo.

Aos meus pais e restante família, pelo amor e suporte incondicional que sempre demonstraram na minha vida e que ainda mais se evidenciou neste meu percurso universitário.

À Patrícia Pontes por ter sido um pilar emocional fundamental ao longo deste tempo.

A todos os meus amigos em especial ao João Grazina, pelo companheirismo e amizade que tão importantes foram ao longo de todos estes anos de curso.

Resumo

No contexto energético actual, Portugal está sujeito a uma enorme dependência face aos recursos que nos dias de hoje asseguram a grande maioria das necessidades energéticas.

A dependência desses recursos acarreta problemáticas não só ao nível económico como também ecológico.

Por esse motivo, devem ser desenvolvidos esforços que conduzam a uma alteração de todo um padrão energético culturalmente enraizado. Essa alteração não pode, de forma alguma, dissociar-se das energias renováveis.

Usufruindo de uma privilegiada localização, face a outros países da Europa, Portugal tem todas as condições para inverter a sua posição de dependência para vanguardar o panorama energético sustentável.

A presente dissertação pretende dar o seu modesto contributo para essa alteração qualitativa de mentalidade, apresentando as mais variadas possibilidades de produção de energia renovável, explorando, ainda, a sua implementação em contexto urbano. Através do estudo de um caso prático para um quarteirão na cidade de Beja, foram projectadas várias unidades de produção de energia solar fotovoltaica.

Neste estudo, foram analisados, os vários factores, não só climáticos e geográficos como também urbanísticos, que deverão ser tidos em consideração para uma instalação de produção de energia fotovoltaica. Um rigoroso planeamento urbano revela-se, sem dúvida, indispensável para alcançar o paradigma da construção sustentável e do projecto de edifícios com balanço energético neutro.

Com o projecto das unidades de produção de energia fotovoltaica, foi realizado o cálculo do orçamento e respectiva análise financeira do investimento, para que os valores encontrados ganhem uma dimensão motivadora para investidores e consumidores num contexto difícil de agregar aliados.

Os resultados alcançados mostram a eficácia do processo e a vantagem quer em termos de eficiência energética obtida quer do potencial contributo para a sustentabilidade dos meios urbanos em termos ambientais e de energia.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos; Planeamento Urbano Sustentável; *Ecotect Analysis*; Microgeração.

Abstract

In the current energy context Portugal is subject to a heavy dependence of fossil energy resources.

The dependence of these resources leads to problems both of economic as of ecological nature.

Therefore, efforts should be made to lead to a change of an entire energy pattern culturally rooted. Anyway this change cannot be away from the renewable energy.

Portugal has all the conditions needed to move from a position of dependence on fossil energy to a position of dominance in terms of renewable energy.

This dissertation aims to present a modest contribution to a qualitative change in mindset, presenting various possibilities of alternative energy production, exploring its implementation in the urban context. To this goal it was established a case study, projecting photovoltaic generation units for a block in the urban context of Beja city.

The simulation software *Ecotect Analysis* was used in this study to analyze not only the geographical and climatic factors but also the urban parameters, which should be taken into account in a PV generation. The concept of Solar Urban Planning is essential to achieve the conditions for a Zero Energy Building (ZEB).

In addition to the project of PV generation, the budget and the financial analysis of the linked investment were also carried out to motivate investors and consumers and also to persuade the sceptic ones.

The results achieved show the effectiveness of the process and the advantage both in terms of energy efficiency obtained either potential contribution to the environmental and energetic urban sustainability.

Keywords: Photovoltaic systems; Solar Urban Planning; Ecotect Analysis; Microgeneration.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e enquadramento do tema	1
1.2. Objectivos e Metodologia	2
1.3 Estrutura do trabalho	3
2. ESTADO DE REFERÊNCIA.....	5
2.1. Consumos energéticos em Portugal	5
2.1.1. Consumo Geral de Energia	5
2.1.2. Consumos sectoriais de energia	8
2.1.3. Consumos de energia no sector doméstico	9
2.2. Soluções de produção de energia renovável	15
2.2.1. Energias renováveis	16
2.2.2. Políticas e estratégias nacionais para a produção de energia	17
2.2.3. Soluções para a produção de energia	18
2.2.3.1. Energia solar fotovoltaica	19
2.2.3.2. Energia solar térmica	20
2.2.3.3. Biomassa	21
2.2.3.4. Energia eólica	24
2.2.3.5. Energia geotérmica	29
2.2.3.6. Energia das ondas	30
2.3. Factores para a produção de energia solar	31
2.3.1 Zona climática	31
2.3.1.1. Situação de Portugal	31
2.3.1.2. Requisitos do sistema de produção de energia tendo em conta a exposição solar.....	33
2.3.2. Influência da morfologia urbana para a produção de energia	36
2.3.2.1. Consumo energético nas cidades	36
2.3.2.2. Estratégia energética urbana.....	36
2.3.2.3. Importância do planeamento urbano para a produção de energia	38
2.3.2.4. Factores externos que condicionam produção de energia em contexto urbano.....	41
3. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA A PRODUÇÃO INDIVIDUALIZADA DE ENERGIA.....	45
3.1. Soluções consideradas	45

3.2. Tecnologia e requisitos associados às soluções consideradas.....	46
3.2.1. Tecnologia inerente à produção de energia solar fotovoltaica	46
3.2.2. Requisitos associados à produção de energia solar fotovoltaica	48
3.2.3. Tecnologia inerente à produção de energia solar térmica	50
3.2.4. Requisitos associados à produção de energia solar térmica	56
3.3. Potencial de cada solução	57
3.3.1. Determinação do potencial da energia solar fotovoltaica	57
3.3.2. Determinação do potencial da energia solar térmica	59
3.4. Factores determinantes para a eficiência dos sistemas de produção de energia.....	60
3.5. Síntese	65
 4. ESTUDO PRÁTICO NO CONTEXTO DA CIDADE DE BEJA	 69
4.1. Descrição do caso de estudo	69
4.2. Metodologia utilizada para o estudo.....	71
4.2.1. Aplicação da ferramenta <i>Ecotect</i>	71
4.2.1.1. Inputs no <i>Ecotect Analysis</i>	72
4.2.1.2. Outputs do <i>Ecotect Analysis</i>	73
4.2.2. Manipulação dos resultados obtidos pelo <i>Ecotect</i>	77
4.2.2.1. Critérios de redução aplicados às coberturas dos edifícios	78
4.2.2.2. Critérios de redução aplicados às fachadas dos edifícios	81
4.2.3. Energia produzida.....	85
4.3. Análise dos resultados da produção de energia.....	86
4.4. Estudo da viabilidade económica	89
4.4.1. Sistema de microgeração proposto	89
4.4.2. Orçamentação do projecto	90
4.4.3. Análise financeira do investimento	92
4.5. Discussão dos resultados	116
 5. CONCLUSÕES	 119
5.1. Conclusão	119
5.2. Desenvolvimentos futuros	122
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 125
ANEXOS	129
ANEXO I - Radiação global em portugal	130

ANEXO II - Coordenadas de locais em portugal continental.....	131
ANEXO III - Report numérico da 1ª simulação <i>Ecotect</i>	132
ANEXO IV - Report numérico da 2ª simulação <i>Ecotect</i>	134
ANEXO V - Esquema de identificação dos números das fachadas geradas pelo <i>Ecotect</i>	136
ANEXO VI - Energia produzida por cada elemento dos dez edifícios do quarteirão	137
ANEXO VII - Orçamentos detalhados para cada edifício	138

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Determinação do consumo de energia eléctrica por habitante por ano.....	15
Quadro 2.2 - Projecção dos custos de produção de energia eléctrica (em €/kWh) de várias tecnologias renováveis, para os anos de 2015 e 2030	16
Quadro 2.3 - Área florestal de Portugal	23
Quadro 2.4 – Subclassificação de pequenas turbinas eólicas	29
Quadro 2.5 - Influência da radiação solar no planeamento urbano.....	44
Quadro 3.1 - Componentes fundamentais para instalações solares fotovoltaicas.....	46
Quadro 3.2 - Tipos e características de células fotovoltaicas	47
Quadro 3.3 - Componentes e respectivas funções dos sistemas solares térmicos	50
Quadro 3.4 - Tipologia dos colectores e respectivas características	51
Quadro 3.5 - Tipologia das instalações solares térmicas e sua caracterização	54
Quadro 3.6 – Processos de transferência térmica nas instalações solares térmicas e respectiva caracterização	56
Quadro 3.7 - Ângulos para inclinação dos módulos solares segundo vários autores.....	61
Quadro 3.8 - Determinação do angulo de inclinação do painel solar, tendo em conta a maximização da radiação solar incidente.....	61
Quadro 3.9 - Factores determinantes para o rendimento dos painéis solares e respectivas formas de mitigação	67
Quadro 4.1 - Distribuição de espaços no quarteirão estudado.....	69
Quadro 4.2 – Dados referentes a cada edifício	70
Quadro 4.3 - Tipologias das coberturas dos edifícios em estudo.....	78
Quadro 4.4 - Aplicação do 1º factor de redução para as coberturas	79
Quadro 4.5 - Intervalos de categorias para densidade populacional e edificada	80
Quadro 4.6 - Nomenclaturas para as tipologias urbanísticas.....	80
Quadro 4.7 - Aplicação do 2º factor de redução para as coberturas	81
Quadro 4.8 - Identificação das fachadas com melhores condições para instalar painéis fotovoltaicos. 82	
Quadro 4.9 – Área da fachada ponderada com o factor de redução f_g	83
Quadro 4.10 - Área da fachada ponderada com o factor de redução R_v	84
Quadro 4.11 - Redução da área disponível em fachada devido a imperfeições arquitectónicas	84
Quadro 4.12 - Energia gerada pelos painéis fotovoltaicos em cada edifício.....	86
Quadro 4.13 - Características dos painéis utilizados	86
Quadro 4.14 - Necessidades anuais de energia eléctrica por edifício.	87
Quadro 4.15 - Necessidades e produções energéticas de cada edifício do quarteirão.	87

Quadro 4.16 - Número de módulos instalados em cada Edifício	91
Quadro 4.17 - Equipamentos a instalar e respectivos preços	91
Quadro 4.18 - Investimento realizado em cada edifício.....	92
Quadro 4.19 - Tarifa de venda de energia à EDP.	93
Quadro 4.20 - Análise Financeira para o Edifício 1	94
Quadro 4.21 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 1	95
Quadro 4.22 - Análise Financeira para o Edifício 2	96
Quadro 4.23 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 2	97
Quadro 4.24 - Análise Financeira para o Edifício 3	98
Quadro 4.25 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 3	99
Quadro 4.26 - Análise Financeira para o Edifício 4	100
Quadro 4.27 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 4	101
Quadro 4.28 - Análise Financeira para o Edifício 5	102
Quadro 4.29 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 5	103
Quadro 4.30 - Análise Financeira para o Edifício 6	104
Quadro 4.31 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 6	105
Quadro 4.32 - Análise Financeira para o Edifício 7	106
Quadro 4.33 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 7	107
Quadro 4.34 - Análise Financeira para o Edifício 8	108
Quadro 4.35 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 8	109
Quadro 4.36 - Análise Financeira para o Edifício 9	110
Quadro 4.37 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 9	111
Quadro 4.38 – Análise Financeira para o Edifício 10	112
Quadro 4.39 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 10	113
Quadro 4.40 - Análise de Custo / Benefício para cada edifício.....	114
Quadro 4.41 - Análise de Custo / Benefício por apartamento em cada edifício.....	115
Quadro 4.42 - Período de retorno dos investimentos em Microgeração	116
Quadro 4.43 - Liquidação da factura energética a 25 anos	117
Quadro 5.1 - Balanço energético dos edifícios do quarteirão analisado	120
Quadro 5.2 - Resumo financeiro das unidades de Microgeração	121
Quadro 5.3 - Resumo financeiro para condóminos	121

Índice de Figuras

Fig. 1.1 - Taxa de dependência energética nacional	1
Fig. 2.1 - Consumos de energia primária em Portugal.....	6
Fig. 2.2 - Percentagens dos consumos de energia primária em 2000.....	6
Fig. 2.3 - Percentagens dos consumos de energia primária em 2009.....	6
Fig. 2.4 - Consumos de energia final em Portugal.....	7
Fig. 2.5 - Percentagens dos consumos de energia final em 2000	7
Fig. 2.6 - Percentagens dos consumos de energia final em 2009	8
Fig. 2.7 - Percentagens dos consumos de energia final em 2009	8
Fig. 2.8 - Distribuição do consumo energético no sector doméstico entre transporte e alojamento	9
Fig. 2.9 - Distribuição de despesa energética no sector doméstico entre transporte e alojamento	10
Fig. 2.10 - Consumo e despesa de energia na habitação	11
Fig. 2.11 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização	12
Fig. 2.12 - Distribuição da despesa com energia no alojamento	12
Fig. 2.13 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento do ambiente por tipo de fonte	13
Fig. 2.14 - Distribuição da despesa com energia para aquecimento do ambiente por tipo de fonte	13
Fig. 2.15 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento de águas por tipo de fonte	14
Fig. 2.16 - Distribuição da despesa com energia para aquecimento de águas por tipo de fonte.....	14
Fig. 2.17 - Distribuição do consumo de energia na Cozinha por tipo de fonte	14
Fig. 2.18 - Distribuição da despesa com energia na Cozinha por tipo de fonte.....	15
Fig. 2.19 - Evolução de produção de energia renovável até 2030	16
Fig. 2.20 - Projecção dos custos de investimento de várias fontes renováveis (em €/kW), para os anos de 2015 e 2030.....	17
Fig. 2.21 - Processo de Conversão de Biomassa	23
Fig. 2.22 - Capacidade geradora por Distritos e Regiões Autónomas	27
Fig. 2.23 - Capacidade geradora acumulada nos últimos 15 anos	27
Fig. 2.24 - Radiação solar incidente na Europa	31
Fig. 2.25 - Radiação solar incidente em Portugal	32
Fig. 2.26 - Insolação global em Portugal	32
Fig. 2.27 - Componentes da radiação solar global.....	33
Fig. 2.28 - Variação da irradiação solar e suas componentes para diferentes condições de nebulosidade	34
Fig. 2.29 - Progressão solar ao longo do dia e do ano	34
Fig. 2.30 - Descrição dos ângulos para tecnologia solar	35

Fig. 2.31 - Os três pilares da energia sustentável nas cidades	37
Fig. 2.32 - Relação entre a morfologia urbana e o desempenho energético urbano	39
Fig. 2.33 - Metodologia para um urbanismo sustentável	40
Fig. 2.34 - Orientação viária.....	42
Fig. 2.35 - Variáveis do sombreamento em espaço urbano.....	43
Fig. 2.36 - Exemplo de área de cobertura para instalação de painéis solares tendo em consideração todos os obstáculos que a constituem	43
Fig. 2.37 - Diferentes formas de disposição do painel consoante a tipologia quer da fachada quer da cobertura do edifício	44
Fig. 3.1 - Módulos fotovoltaicos conectados em série para somar a sua tensão.....	48
Fig. 3.2 - Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo para somar a sua corrente.....	48
Fig. 3.3 - Pormenorização do funcionamento do tubo de vácuo	52
Fig. 3.4 – Esquema de montagem dos colectores em paralelo	53
Fig. 3.5 - Esquema de montagem dos colectores em série.....	53
Fig. 3.6 - Funcionamento da tipologia baseada no sistema termossifão	55
Fig. 3.7 - Funcionamento da tipologia baseada na circulação forçada	55
Fig. 3.8 - Distancia L recomendada para evitar o sombreamento causado por um obstáculo de altura C	62
Fig. 3.9 - Sombreamento sobre painéis solares	63
Fig. 3.10 - Opção alternativa para fornecimento de energia em habitações com mau posicionamento geográfico.....	64
Fig. 3.11 - Síntese técnica das soluções estudadas	65
Fig. 4.1 - Quarteirão a ser estudado	69
Fig. 4.2 - Numeração dos edifícios	70
Fig. 4.3 - Esquematização do processo de simulação com o <i>Ecotect Analysis</i>	71
Fig. 4.4 - Modelo 3D do quarteirão evidenciando os sombreamentos para a posição solar no dia 21 de Setembro pelas 10:00 (Perspectiva A).	72
Fig. 4.5 - Modelo 3D do quarteirão evidenciando os sombreamentos para a posição solar no dia 21 de Setembro pelas 14:00 (Perspectiva B).	73
Fig. 4.6 - Número médio de horas de Sol (Perspectiva A).	74
Fig. 4.7 - Número médio de horas de Sol (Perspectiva B).	74
Fig 4.8 - Número médio de horas diárias de Sol (Perspectiva C).	74
Fig. 4.9 - Radiação solar global [Wh/m ²] incidente no quarteirão (Perspectiva A).	76
Fig. 4.10 - Radiação solar global [Wh/m ²] incidente no quarteirão (Perspectiva B).	76
Fig. 4.11 - Radiação solar global [Wh/m ²] incidente no quarteirão (Perspectiva C).	76

Fig. 4.12 - Variação do rendimento dos painéis com a orientação e inclinação a que estão sujeitos	78
Fig. 4.13 - Factor de redução aplicado a coberturas consoante a sua tipologia e orientação	79
Fig. 4.14 - Sombreamentos causados pelas chaminés.....	80
Fig. 4.15 - Factor de redução do primeiro piso (f_g).....	82
Fig. 4.16 - Factor de redução f_g para os edifícios em estudo.....	83
Fig. 4.17 - Necessidades e produções energéticas de cada edifício do quarteirão.....	88
Fig. 4.18 - Comunhão do quarteirão para a produção de energia aplicado ao caso de estudo.	89
Fig. 4.19 - Diagrama ilustrativo de uma instalação de microgeração	90
Fig. 4.20 - Relação entre o investimento e área disponível para cada edifício.....	92
Fig. 4.21 - Retorno do Investimento para o Edifício 1	95
Fig. 4.22 - Retorno do Investimento para o Edifício 2.....	97
Fig. 4.23 - Retorno do Investimento para o Edifício 3.....	99
Fig. 4.24 - Retorno do Investimento para o Edifício 4.....	101
Fig. 4.25 - Retorno do Investimento para o Edifício 5.....	103
Fig. 4.26 - Retorno do Investimento para o Edifício 6.....	105
Fig. 4.27 - Retorno do Investimento para o Edifício 7.....	107
Fig. 4.28 - Retorno do Investimento para o Edifício 8.....	109
Fig. 4.29 - Retorno do Investimento para o Edifício 9.....	111
Fig. 4.30 - Retorno do Investimento para o Edifício 10.....	113
Fig. 4.31 - Análise de Custo / Benefício para cada edifício	114
Fig. 4.32 - Análise de Custo / Benefício por apartamento em cada edifício	115

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

AQS – Água Quente Sanitária

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Continua

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

EDP – Energias de Portugal

ENE 2020 – Estratégia Nacional para a Energia

ESF – Energia Solar Fotovoltaica

EST – Energia Solar Térmica

EUROSTAT - Gabinete de Estatísticas da União Europeia

GEE – Gases de Efeito de Estufa

HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine

ICESD (2010) - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico, 2010

INE – Instituto Nacional de Estatística

IVA – Imposto de Valor Acrescentado

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

UE – União Europeia

VAWT – Vertical Axis Wind Turbine

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e enquadramento do tema

É do conhecimento geral que as necessidades energéticas das sociedades modernas têm vindo a aumentar nomeadamente após a Revolução Industrial, sendo actualmente o sector energético a base do desenvolvimento social e económico para toda e qualquer cultura. Estas exigências no consumo energético vêm sendo cumpridas recorrendo a combustíveis fósseis tais como petróleo, carvão e gás natural, que representam recursos naturais não renováveis quando comparáveis com a escala temporal do Homem. Desta forma, de acordo com variados estudos prevê-se que as reservas petrolíferas conhecidas se encontrem na sua maioria esgotadas até ao ano de 2050, e os restantes combustíveis fósseis supracitados seguirão a mesma tendência com algumas diferenças de durabilidade.

Dada a escassez, em Portugal, de recursos energéticos endógenos, nomeadamente, aqueles que asseguram a grande maioria das necessidades energéticas como o petróleo, o carvão e o gás, encontramos-nos numa situação de elevada dependência energética do exterior, valor que em 2010 rondava os 76.7%. Dados fornecidos pela Direcção Geral de Energia e Geologia, mostram contudo que apesar da gravidade deste valor, ele tem vindo a diminuir consideravelmente.

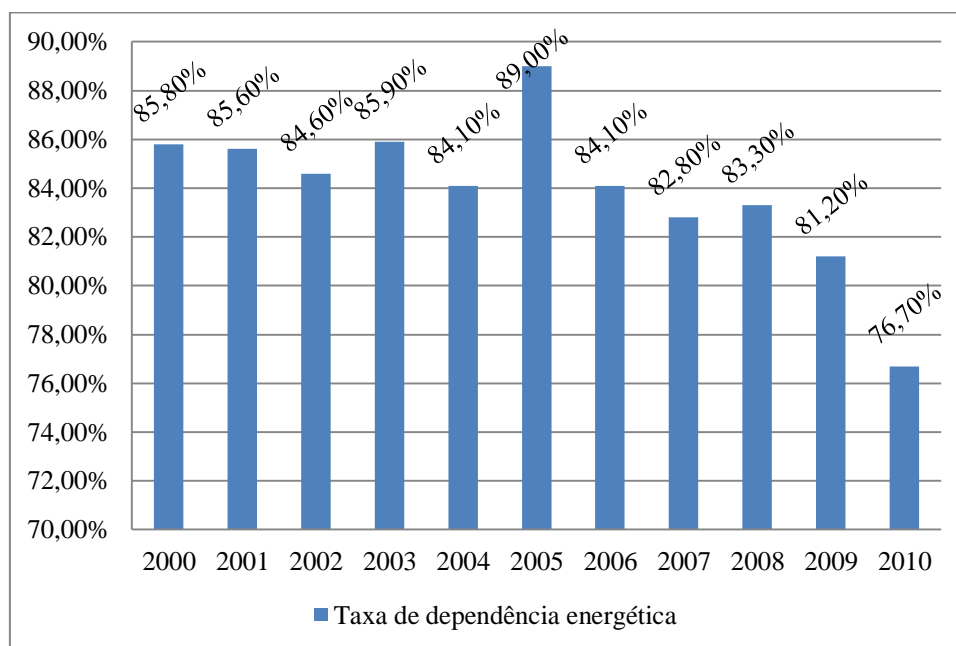


Fig. 1.1 - Taxa de dependência energética nacional [1]

Nos últimos 5 anos Portugal tem vindo a diminuir o consumo de energia. “Contudo este consumo tem crescido quase sempre acima do PIB, ao contrário do que acontece na UE27.

Portugal aumentou assim o desvio face à média da intensidade energética da União Europeia. Os sectores dos Transportes e Serviços foram os que mais contribuíram para o aumento do desvio da média europeia. Enquanto a Indústria foi o único sector que contribuiu para a sua redução. O sector

dos Serviços tem vindo a utilizar a energia de forma cada vez menos eficiente face aos restantes países da União Europeia.

É expectável que o consumo final de energia mantenha o ritmo de crescimento dos últimos cinco anos caso não sejam implementadas medidas de eficiência energética. Deste modo, Portugal demoraria cerca de 15 anos a convergir com a actual média europeia de intensidade energética caso nada seja feito. Nessa altura a intensidade energética europeia já deverá estar a um nível inferior ao actual. Em resumo, Portugal tem vindo a piorar a sua situação relativa no contexto europeu” [2].

Perante esta realidade surge-nos assim o paradigma de Eficiência Energética e Energias Renovais, visando uma optimização do uso de fontes de energia e reduzindo o consumo de determinados recursos, valorizando sempre novas formas de energia não finitas e não poluentes.

1.2. Objectivos e Metodologia

A presente dissertação tem como objectivo o contributo para uma alteração dos consumos energéticos quotidianos que vêm sendo praticados nas últimas décadas, através da implementação de soluções de Microgeração para um equilíbrio entre produção e consumos.

Esta alteração não diz respeito a factores quantitativos mas sim qualitativos, desempenhando as energias renováveis um papel fundamental para incentivo dos consumidores.

Este trabalho pretende ainda desenvolver uma avaliação do potencial de produção de energia solar fotovoltaica em contexto urbano para reforço do potencial energético. Esta análise será validada através da análise de um caso de estudo referente a um quarteirão localizado na cidade de Beja.

A referida avaliação será realizada não apenas perante as características técnicas das tecnologias inerentes à produção de energia solar, mas também tendo em conta todas as limitações urbanísticas e arquitectónicas, que em contexto urbano influenciam o rendimento das unidades de produção fotovoltaica. São vários os factores que terão de ser tidos em consideração quando se remete uma instalação deste tipo para contexto urbano. Para que todos esses factores e variáveis sejam estudados com rigor e precisão, recorrer-se-á ao *software* de simulação – *Ecotect Analysis*.

Uma vez que será estudado todo o conjunto de edifícios que conferem uma determinada geometria ao quarteirão, então, muitos serão os elementos desses edifícios cuja possibilidade de captação de radiação solar estará limitada. O *Ecotect Analysis*, permite precisamente uma análise dinâmica da radiação solar ao longo de todo o ano, possibilitando assim estimar a viabilidade de determinados elementos (coberturas e fachadas) para a instalação de módulos fotovoltaicos, fornecendo dados como radiação solar incidente, horas de exposição solar, análise dinâmica dos sombreamentos para as várias alturas solares anuais, entre outras potencialidades. Os dados fornecidos pelo *software* terão no entanto de merecer uma análise especial, sendo vários os critérios de redução a que estarão sujeitos os resultados brutos para que finalmente se possa obter uma estimativa realista daquela que será a produção global de energia por parte dos módulos fotovoltaicos.

Uma vez realizada a estimativa de produção de energia solar fotovoltaica para o quarteirão, será feito um estudo de viabilidade económica, tendo em conta a filosofia de Microgeração, considerando, portanto, a possibilidade de vender a energia produzida à rede pública de distribuição. Para esse estudo de viabilidade económica das unidades de Microgeração ter-se-á em conta o investimento feito, o retorno financeiro e o período para liquidar esse investimento.

1.3 Estrutura do trabalho

Para o desenvolvimento desta dissertação optou-se por dividir o trabalho em 5 capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução
- Capítulo 2 – Estado de Referência
- Capítulo 3 – Soluções técnicas para a produção individualizada de energia
- Capítulo 4 – Estudo prático no contexto da cidade de Beja
- Capítulo 5 – Conclusões

No primeiro capítulo definiu-se o enquadramento geral do tema em estudo, evidenciando a situação energética nacional da actualidade e a emergência em cortar com a qualidade de consumos energéticos que se realizam, tanto por factores económicos como ambientais, desempenhando as energias renováveis um papel preponderante para este fim.

São ainda apresentados neste capítulo os objectivos gerais a que se propõem o trabalho, bem como a definição da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo intitulado “Estado de Referência” pretende abranger de forma geral todo o conteúdo da dissertação, sendo aqui apresentadas as bases para que posteriormente se possa desenvolver o tema.

Começando por uma sensibilização para os consumos energéticos praticados em Portugal através de uma gradação que vai desde os consumos gerais de energia aos consumos praticados no sector doméstico passando pela análise subtil de consumos sectoriais.

Esmiuçados esses dados partiu-se para o aprofundamento das alternativas qualitativas ao tipo de consumos praticados. Neste ponto foi introduzido o paradigma das energias renováveis, abordando o seu estado actual e perspectivas futuras; as políticas e estratégias nacionais para a produção de energia sendo por fim individualizadas e aprofundadas essas energias alternativas consoante a sua fonte de geração.

Uma vez aprofundadas as possibilidades de produção de energia, sem se afastar do cerne da dissertação que está virado para energia solar, foram apresentados os factores preponderantes para a produção da mesma, que vão desde a zona climática em que é inserida até à sua localização geográfica. Entenda-se por localização geográfica não apenas a latitude e longitude que em muito interferem, mas também no contexto em que se inserem. Quando o contexto de inserção remete para o espaço urbano muitos serão os factores a ter em conta, como de resto será apresentado neste capítulo.

No terceiro capítulo, é abordada a vertente técnica das soluções de produção de energia solar, tanto térmica como fotovoltaica. Aqui são apresentadas todas as integrantes dos sistemas em análise assim como especificações técnicas e requisitos associados. Para além de tudo isso, neste capítulo são também aprofundados os potenciais das soluções supracitadas e toda a metodologia para o seu correcto dimensionamento. Por fim, são apresentados os factores que poderão por em causa o potencial anteriormente referido, comprometendo a rentabilidade das soluções, propondo então formas de mitigação desses mesmos factores.

O quarto capítulo refere-se ao caso de estudo prático. Aqui será estudada a implementação de unidades de produção de energia fotovoltaica no contexto da cidade de Beja, sendo analisado um quarteirão. Recorreu-se a um *software* de simulação para uma consideração fidedigna de todos os factores urbanísticos, climáticos e geográficos, já anteriormente mencionados, e foram manipulados os resultados fornecidos pelo *software*, com o objectivo de aproximar os resultados obtidos à realidade.

Posto isto, foi possível determinar a energia produzida pelas unidades projectadas, e assim escolher a melhor filosofia para a produção de energia, como se verá. Uma vez escolhida a filosofia de produção de energia fotovoltaica foram realizados os orçamentos e feito o estudo de análise financeira para os investimentos em causa.

No capítulo 5, poderão ser encontradas as conclusões do trabalho assim como possíveis desenvolvimentos futuros tendo por base todo o estudo desenvolvido ao longo da presente dissertação.

2. ESTADO DE REFERÊNCIA

2.1. Consumos energéticos em Portugal

Os consumos de energia são por norma padronizados em dois grupos principais: consumo de energia primária e consumo de energia final. Convém portanto antes de mais distinguir entre um e outro.

- Entende-se por energia primária como o recurso energético que pode ser encontrado disponível na natureza, sendo seus exemplos: carvão, petróleo, gás natural e energias renováveis tais como energia solar, energia hídrica, energia eólica, biomassa, entre outras. A “energia primária” é normalmente expressa em termos de massa equivalente de petróleo (quilograma equivalente de petróleo – kgep – ou tonelada equivalente de petróleo – tep¹). De notar ainda que existem formas de energia primária tais como gás natural, lenha, entre outras, que podem ser disponibilizadas directamente aos consumidores, sendo que nesses casos esta forma de energia coincide com a “energia final”.
- Por sua vez, a “energia final” é a energia tal como ela é disponibilizada às actividades económicas e às famílias, nas suas várias formas, tais como: electricidade, gás natural, propano ou butano, biomassa, etc., às actividades económicas e às famílias, contrariamente à “energia primária” que é a energia tal como entra no sistema energético. A “energia final” é normalmente expressa em unidades com significado comercial (kWh, m³, kg).

Feita a definição dos volumes energéticos considerados, serão seguidamente apresentados os dados de consumos energéticos em Portugal nos últimos anos, pela seguinte ordem:

1. Consumos gerais de energia
2. Consumos sectoriais de energia
3. Consumos de energia no sector doméstico

2.1.1. Consumo Geral de Energia

Segue primeiramente a análise geral de consumos energéticos nacionais apresentada em termos de energia primária. A Figura 2.1 facilmente sugere a esmagadora presença de petróleo no quadro energético nacional. Embora recursos como carvão e gás natural também detenham uma posição determinante no quadro de consumos energéticos nacionais verifica-se que as energias renováveis vão cada vez mais merecendo uma posição de destaque.

¹ Corresponde á energia calorífica obtida quando se queima uma tonelada de petróleo. O seu valor varia um pouco entre os petróleos brutos de diferentes origens, mas é aceite, em geral, uma média de 42.000MJ (42 GJ). [3]

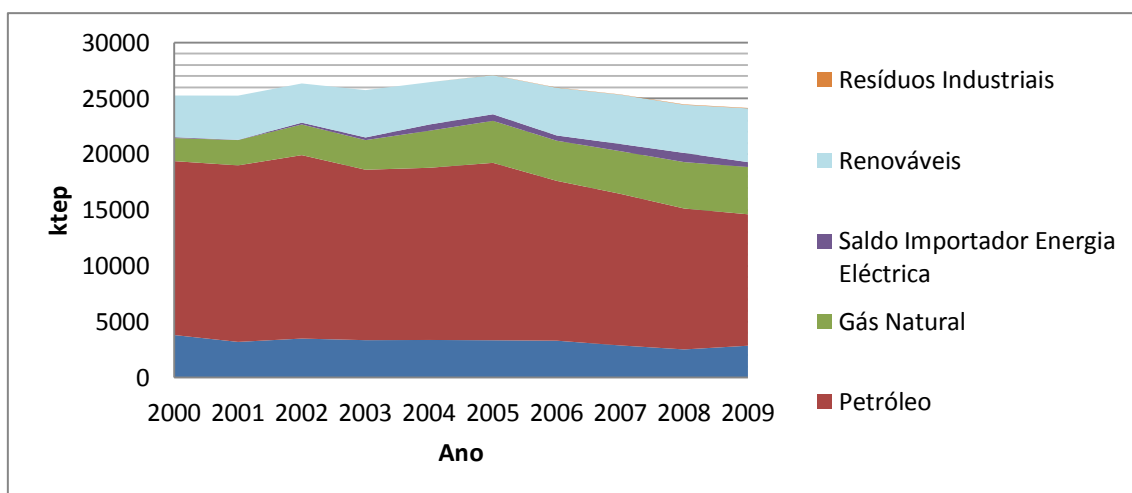


Fig. 2.1 - Consumos de energia primária em Portugal [4]

Vejamos então a evolução dos consumos entre 2000 e 2009 em termos de percentagens:

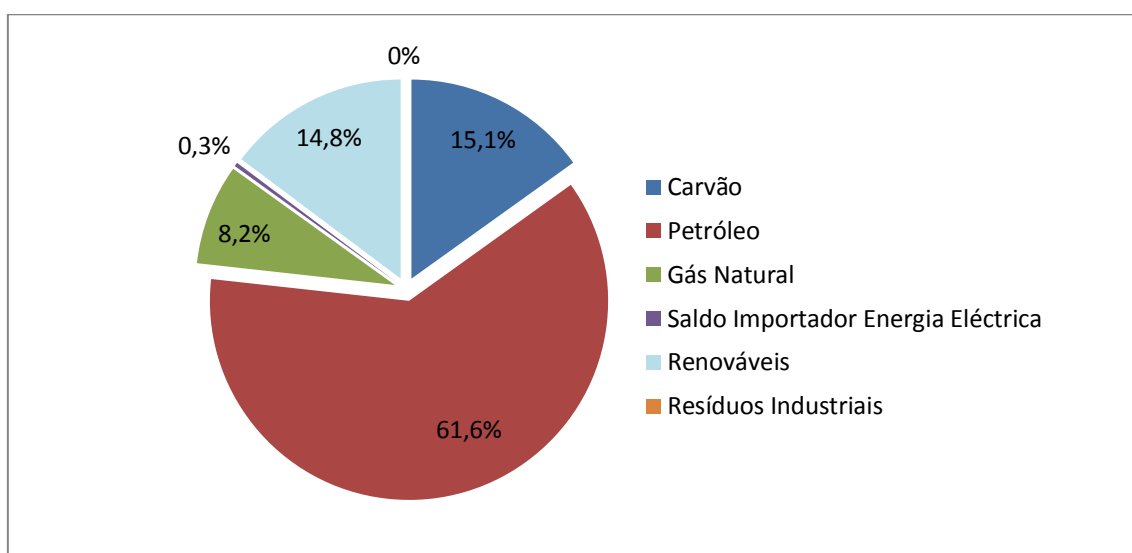


Fig. 2.2 - Percentagens dos consumos de energia primária em 2000 [4]

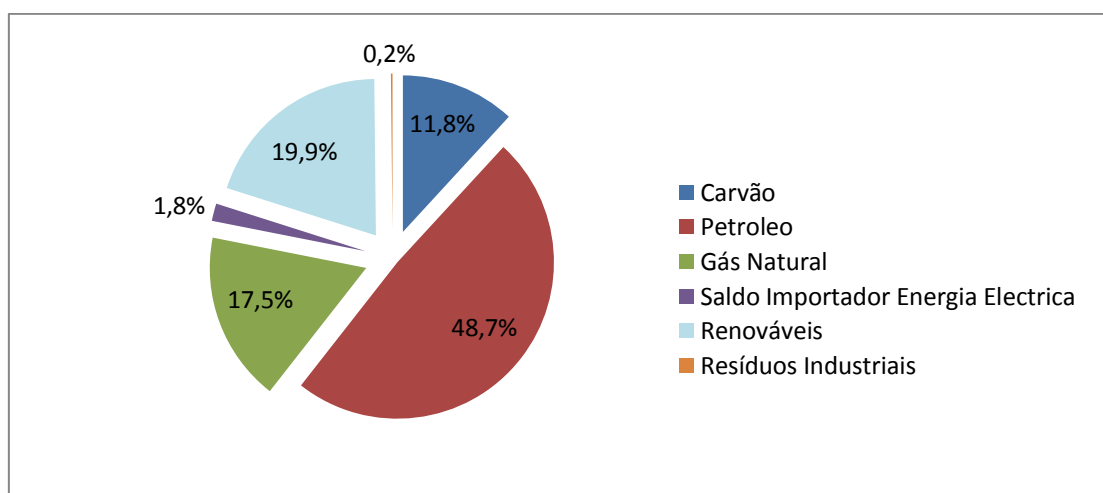


Fig. 2.3 - Percentagens dos consumos de energia primária em 2009 [4]

Da análise das figuras acima apresentadas fica bem patente o crescimento de fontes de energia renovável face a outras fontes de energia nos últimos dez anos.

Uma vez apresentados os valores em termos de energia primária, apresentam-se agora os consumos em termos de energia final ao longo do mesmo período de tempo.

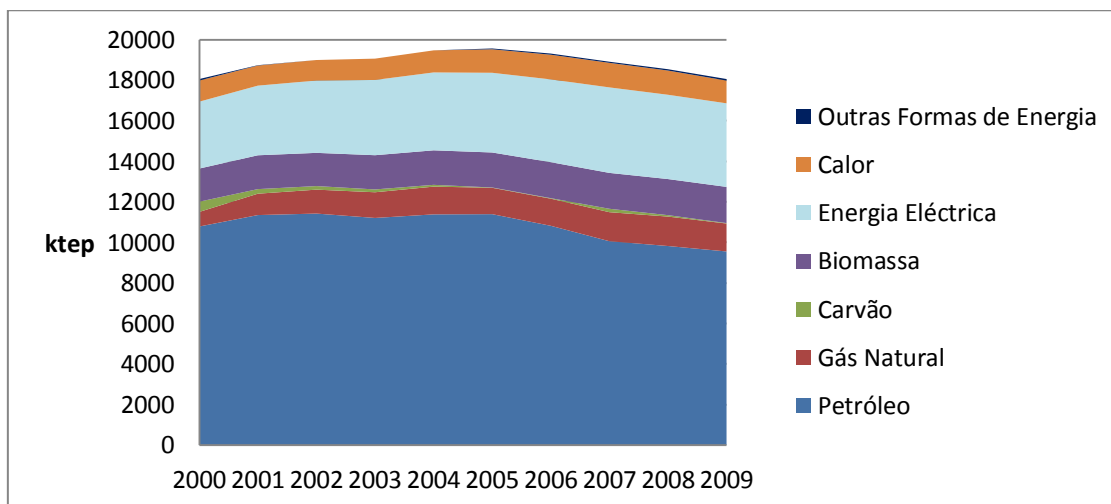


Fig. 2.4 - Consumos de energia final em Portugal [4]

Vejamos então a evolução dos consumos entre 2000 e 2009 em termos de percentagens:

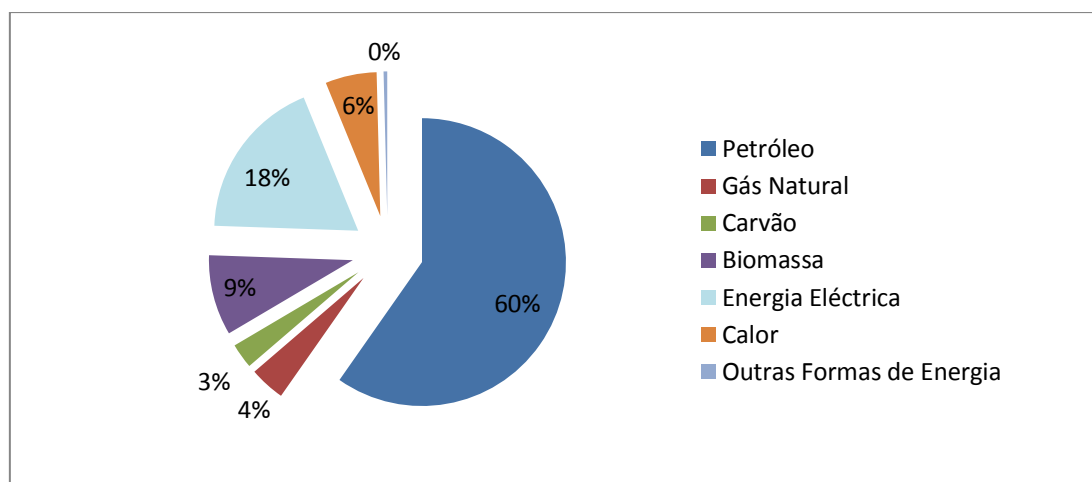


Fig. 2.5 - Percentagens dos consumos de energia final em 2000 [4]

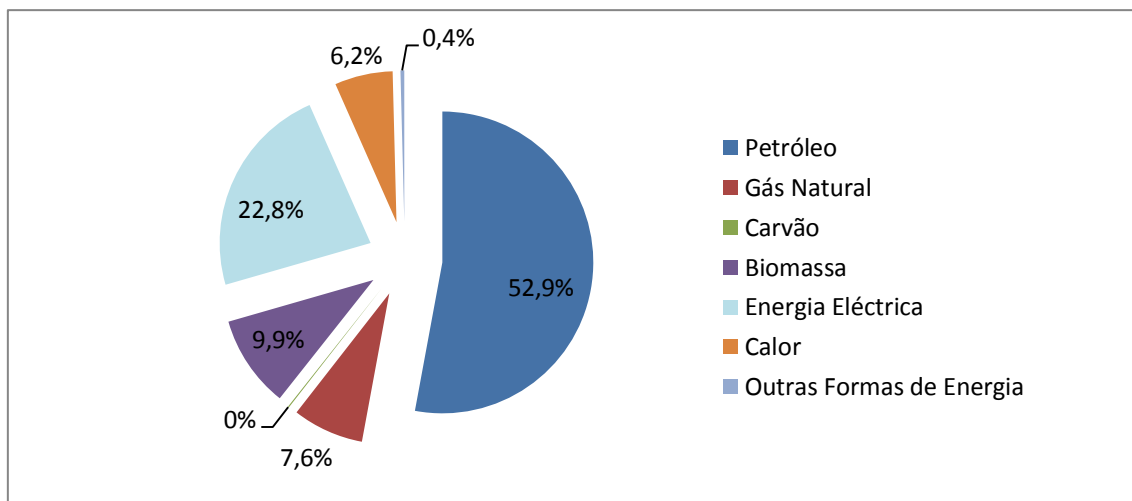


Fig. 2.6 - Percentagens dos consumos de energia final em 2009 [4]

Perante os dados acima apresentados, não restam quaisquer dúvidas que os grandes contribuidores para o actual quadro energético nacional são o petróleo e a energia eléctrica. No entanto a área de intervenção da presente dissertação restringe-se ao sector doméstico, como tal, veja-se seguidamente a preponderância deste sector para o balanço energético global.

2.1.2. Consumos sectoriais de energia

Ainda perante dados fornecidos pela Direcção Geral de Energia e Geologia, segundo o Balanço Energético de 2009, pode observar-se que o principal consumidor de energia em Portugal é mesmo o sector dos Transportes com 37,5% do valor global, seguido pelas Industrias com 30,5%, surgindo em terceiro lugar no *ranking* o sector doméstico o qual é responsável por 17,7% dos consumos de energia globais. De notar ainda que a percentagem de consumo doméstico apresentada pelo Balanço Energético não inclui o consumo de combustíveis gerado pelos transportes individuais.

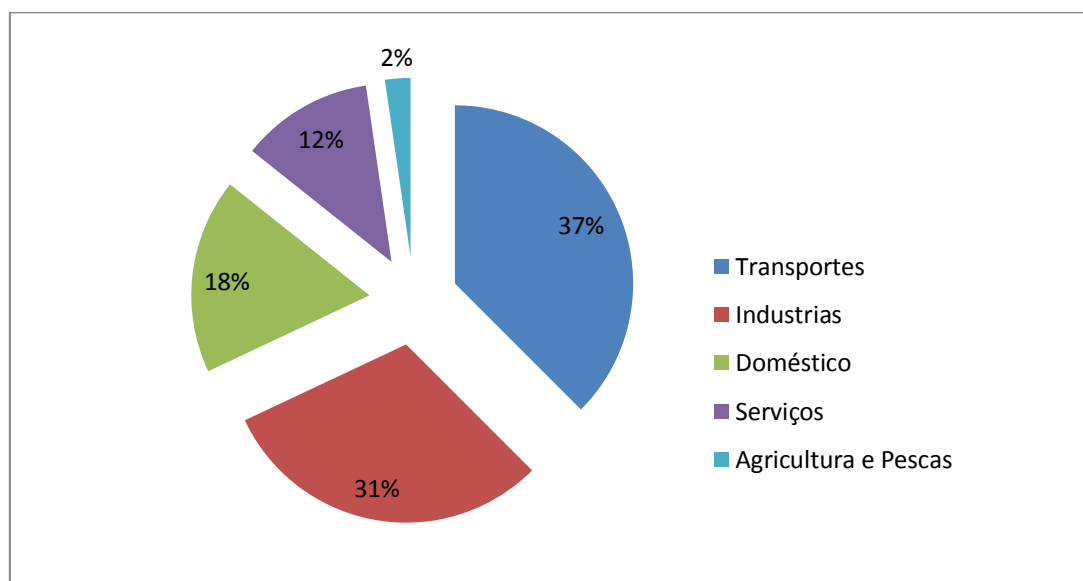


Fig. 2.7 - Percentagens dos consumos de energia final em 2009 [5]

2.1.3. Consumos de energia no sector doméstico

Relativamente ao consumo de energia no que respeita ao sector doméstico, tendo por base uma recolha de dados fidedignos resultantes do Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (ICESD-2010), elaborado em comunhão entre a DGEG e o INE, contando com o co-financiamento da Comissão Europeia (EUROSTAT). É apresentada uma análise detalhada daquelas que são actualmente as maiores fontes de consumo de energia doméstica, estudando-se inclusive a sua evolução ao longo dos últimos vinte anos uma vez que há também a possibilidade de comparação com as versões anteriores deste inquérito datados de 1989 e 1996.

Analizando então esses dados e como seria expectável assiste-se a uma alteração bastante considerável dos hábitos de consumo de energia no sector doméstico sobretudo nos últimos quinze anos.

De acordo com o ICESD 2010, “o consumo total de energia foi estimado em 5 902 024 tep no período de referência”. O período de referência do inquérito correspondeu ao período de Outubro de 2009 e Setembro de 2010. Tendo-se verificado então um consumo global de energia por alojamento de 1.5 tep em média.

Os valores globais supracitados representam uma despesa total com energia no valor de 7 245 256 634€, sendo a despesa global com energia por alojamento em média de 1 843€/ano.

De referir que uma grande fatia do consumo energético total corresponde aos veículos de transporte individual dos residentes no alojamento, representando 50,6%, sendo portanto (e pela primeira vez), superior aos consumos de energia no alojamento propriamente dito (49,4%). Relativamente às edições anteriores de 1989 e 1996 o consumo representado pelos veículos particulares representava respectivamente 21,8% e 37,8% do total.

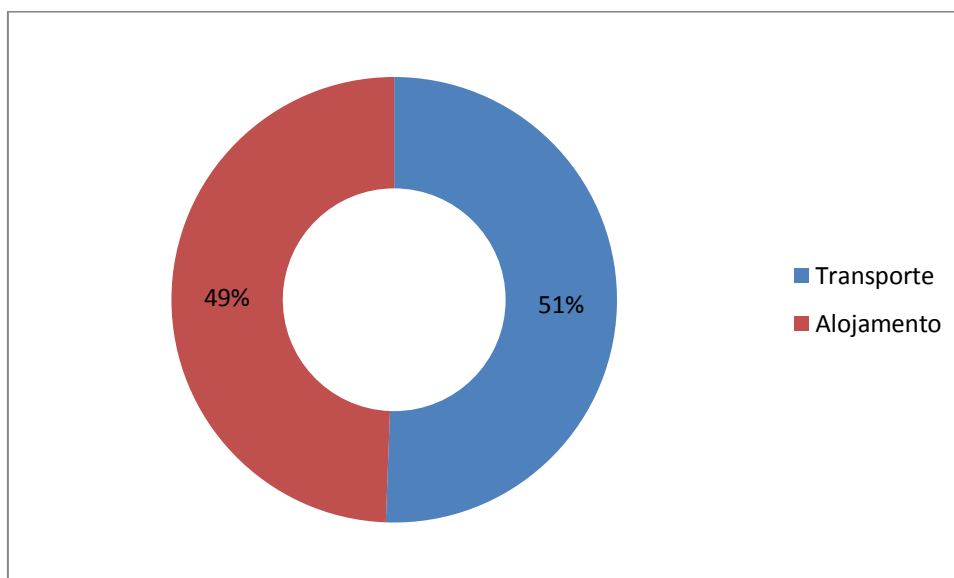


Fig. 2.8 - Distribuição do consumo energético no sector doméstico entre transporte e alojamento [6]

Esta percentagem de consumo (50,6%) representa 54,4% na despesa total anteriormente apresentada.

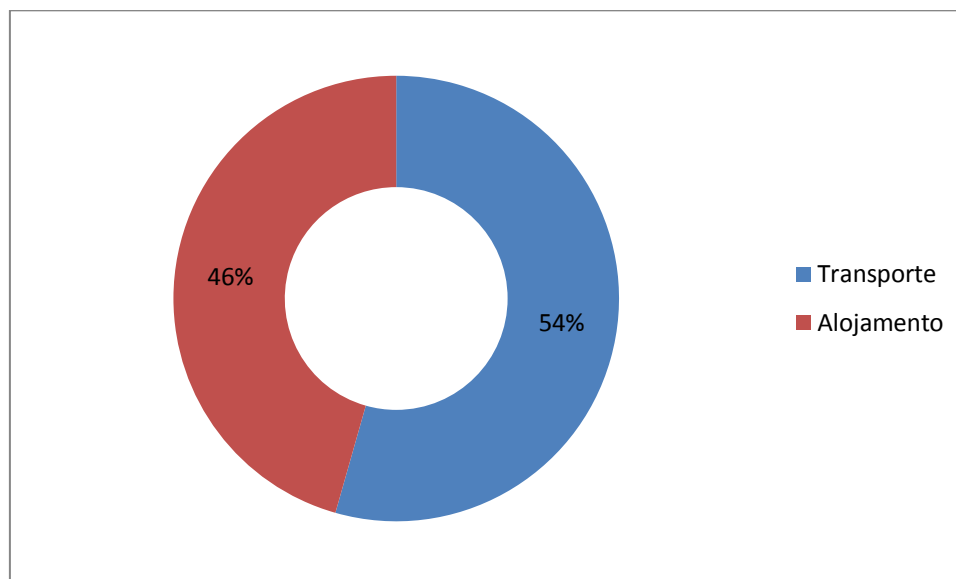


Fig. 2.9 - Distribuição de despesa energética no sector doméstico entre transporte e alojamento.
[6]

Por sua vez, analisando o consumo de energia do alojamento excluindo as despesas de combustíveis usados nos veículos, tornar-se-á então possível esmiuçar o peso de cada fonte de energia doméstica. Então, de acordo com o ICESD 2010, a Electricidade representa a maior fonte de energia consumida sendo responsável por 42,6% do consumo total de energia no sector doméstico. Comparativamente com os inquéritos anteriores 1989 e 1996, a Electricidade foi a fonte de energia que maiores diferenças registou, tendo representado 15,8% e 27,5% respectivamente, verificando-se assim uma subida drástica neste sector, sendo facilmente justificada devido a enorme dependência da sociedade dos dias de hoje desta fonte uma vez que existe uma, cada vez maior, oferta de utensílios utilizados nas habitações alimentados por esta fonte de energia.

Para uma análise mais intuitiva apresentam-se graficamente todos os valores de consumo e respectivas despesas.

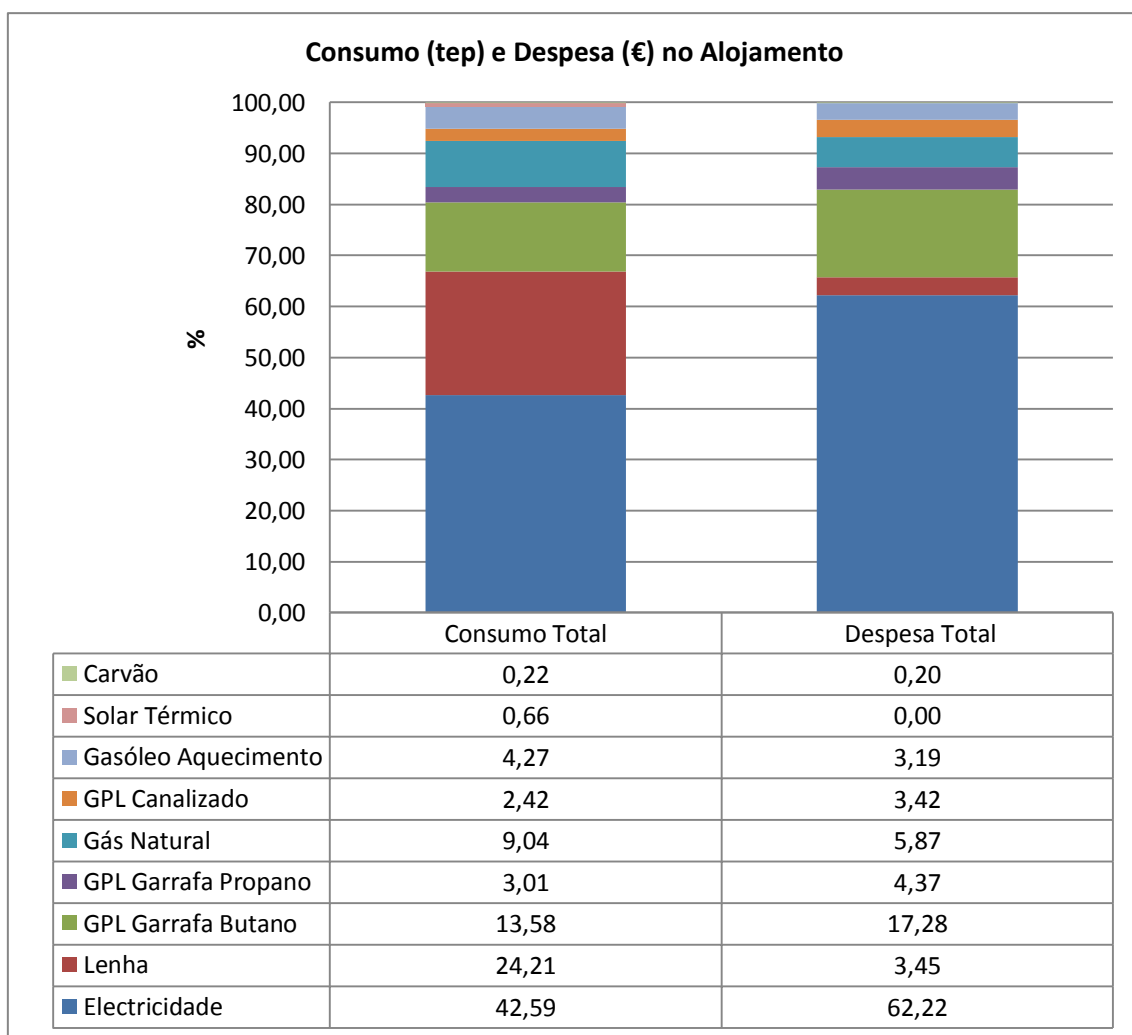


Fig. 2.10 - Consumo e despesa de energia na habitação [6]

Os resultados do inquérito revelam ainda que o consumo total de electricidade nas habitações terá sido de 1 242 021 tep o que equivale a 14 442 GWh, pelo que em média tem-se por habitação um consumo de 0,3116 tep [6].

A segunda maior fonte de energia consumida nas habitações em Portugal de acordo com o ICESD 2010, terá sido a Lenha. Esta representa 24,2% no consumo total dos alojamentos, pelo que contrariamente ao que vem sucedendo com a energia eléctrica, a lenha vem perdendo influência no panorama de consumo geral de energia nas habitações. Em 1989 esta fonte representava 60,3% e 41,9% em 1996 [6].

Relativamente ao consumo e despesa com energia por tipo de utilização, o ICESD [6] fornece dados bastante interessante, que permitem caracterizar com detalhe o padrão de consumos domésticos em Portugal.

O Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico [6], considerou para este estudo seis tipos de utilização de energia: Aquecimento do Ambiente, Arrefecimento do Ambiente, Aquecimento de Águas, Cozinha, Equipamentos Eléctricos e Iluminação.

Os resultados demonstram que é na Cozinha que se verifica um maior consumo de energia, correspondente a 39,1% do total. O Aquecimento de Águas surge como o segundo maior consumidor de energia com 23,5%. Onde se registam menores consumos é então no Arrefecimento do Ambiente (0,5%) e na Iluminação (4,5%).

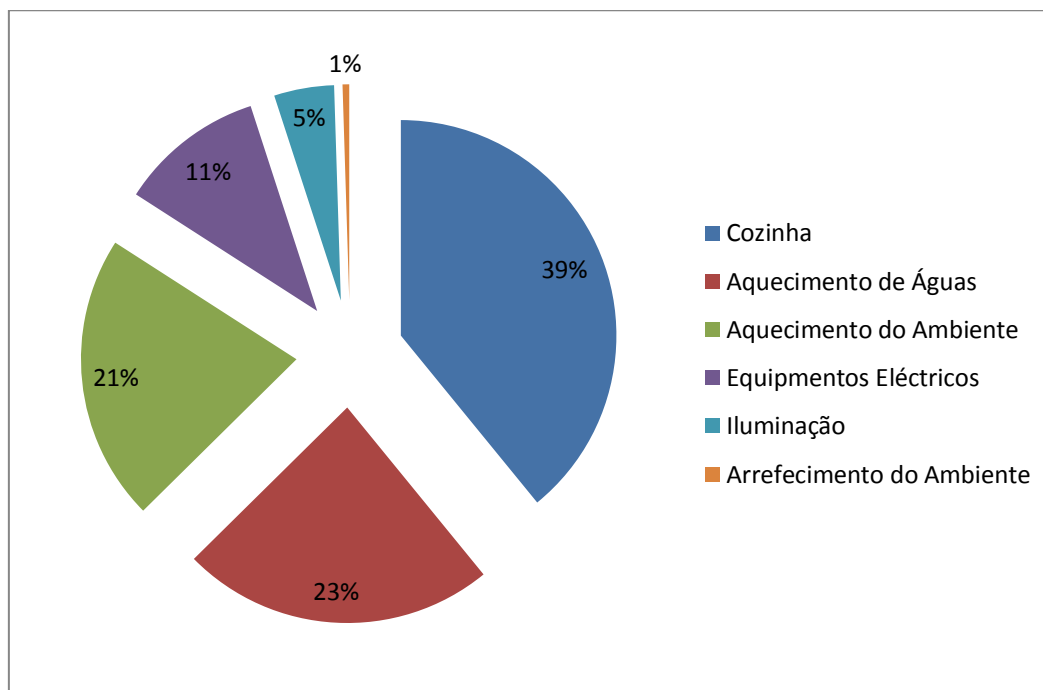


Fig. 2.11 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização [6]

Relativamente à despesa que advém do consumo, a sua distribuição é semelhante, sendo também a Cozinha a gerar maior despesa correspondendo a 40% do total. Seguindo-se o Aquecimento de Águas com 27,6% e os Equipamentos Eléctricos com 15%.

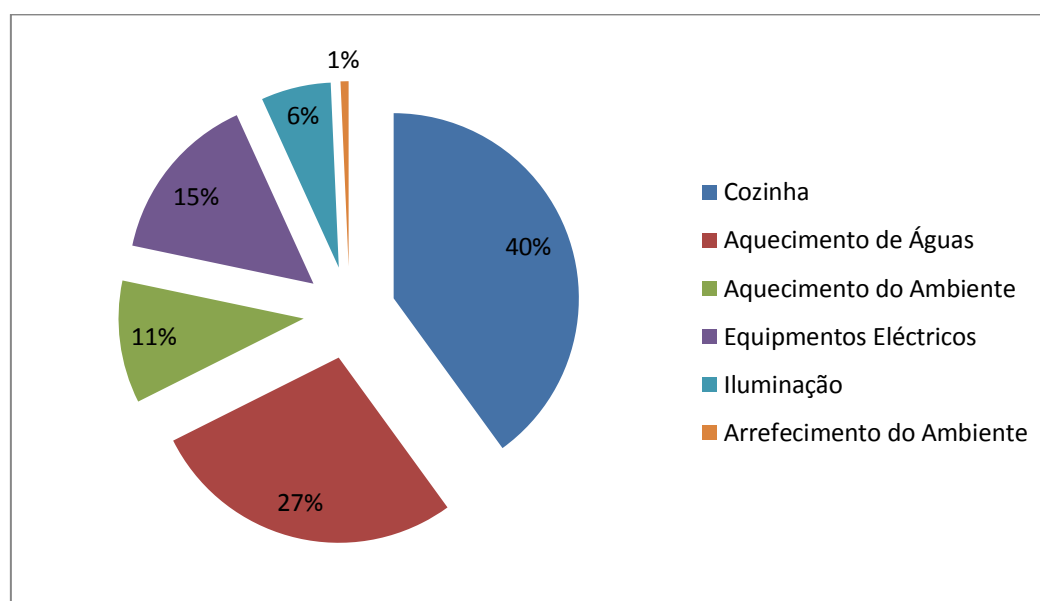


Fig. 2.12 - Distribuição da despesa com energia no alojamento [6]

De todos, o Aquecimento do Ambiente apresenta-se como o menos dispendioso tendo em conta o consumo de energia a ele associado, onde os 21,5% de consumo de energia correspondem a apenas 10,7% das despesas. Tal facto é justificável pelo elevado consumo de Lenha para essa finalidade, onde 68% da energia consumida para o Aquecimento do Ambiente corresponde ao consumo de Lenha. Conferindo a esta o estatuto de fonte de energia mais económica utilizada no sector doméstico.

Apresentam-se de seguida gráficos que permitem uma análise rápida da distribuição do consumo de energia pelos vários tipos de utilização e pelas várias fontes de energia, assim como as despesas a elas associadas.

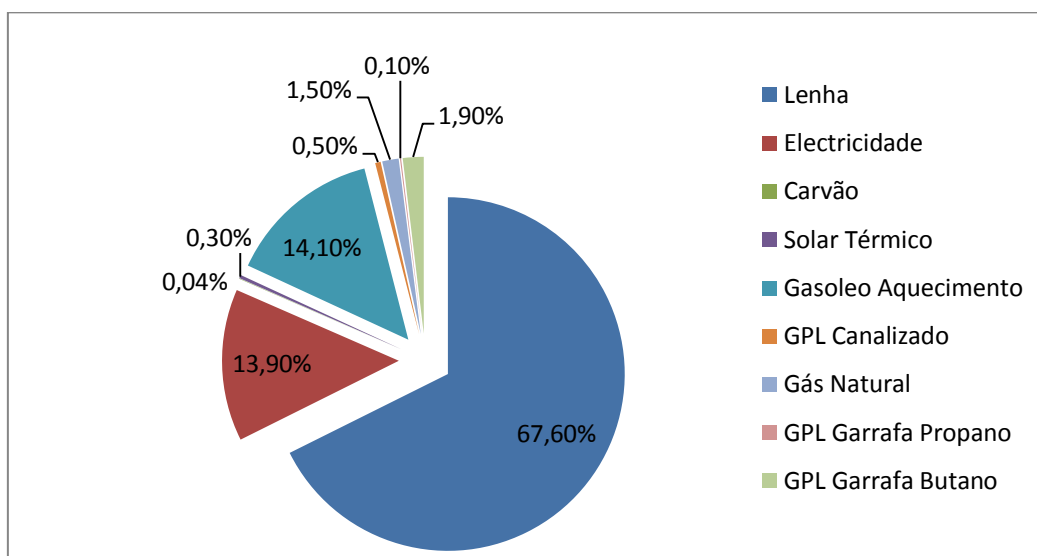


Fig. 2.13 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento do ambiente por tipo de fonte
[6]

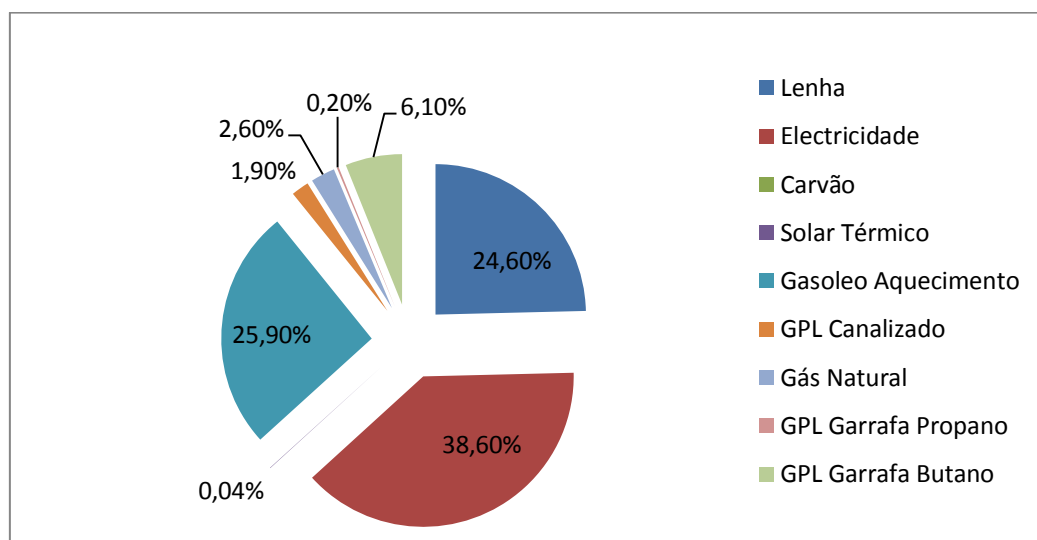


Fig. 2.14 - Distribuição da despesa com energia para aquecimento do ambiente por tipo de fonte
[6]

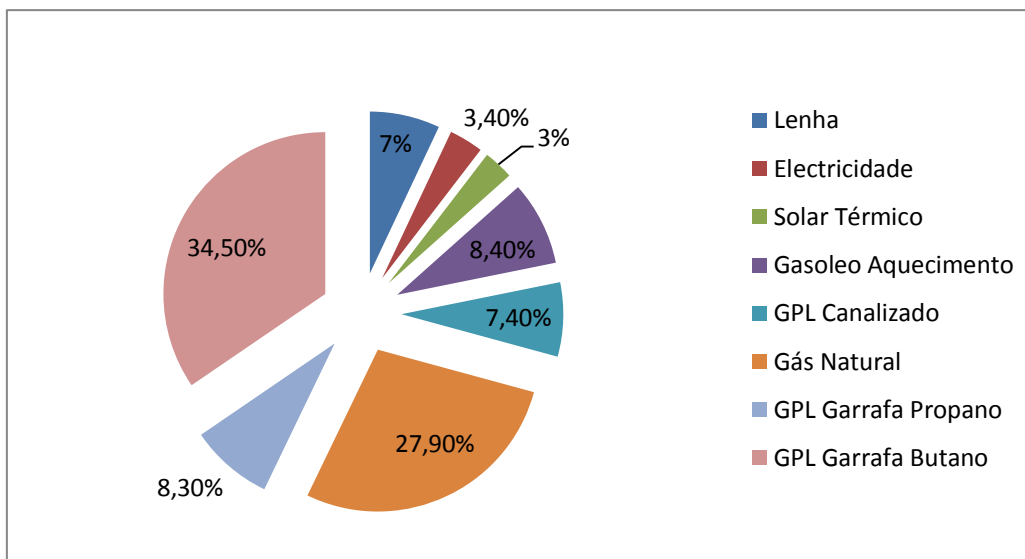


Fig. 2.15 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento de águas por tipo de fonte [6]

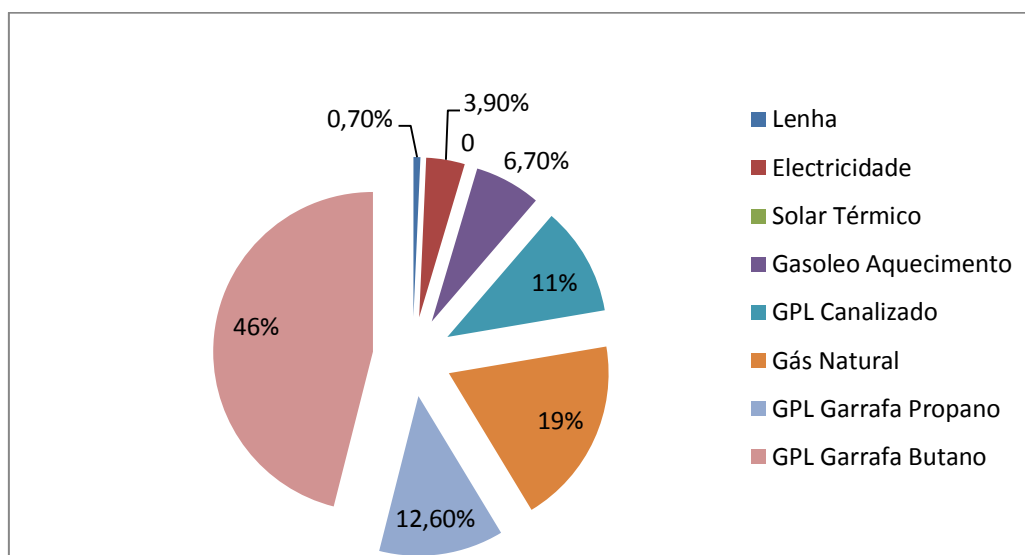


Fig. 2.16 - Distribuição da despesa com energia para aquecimento de águas por tipo de fonte [6]

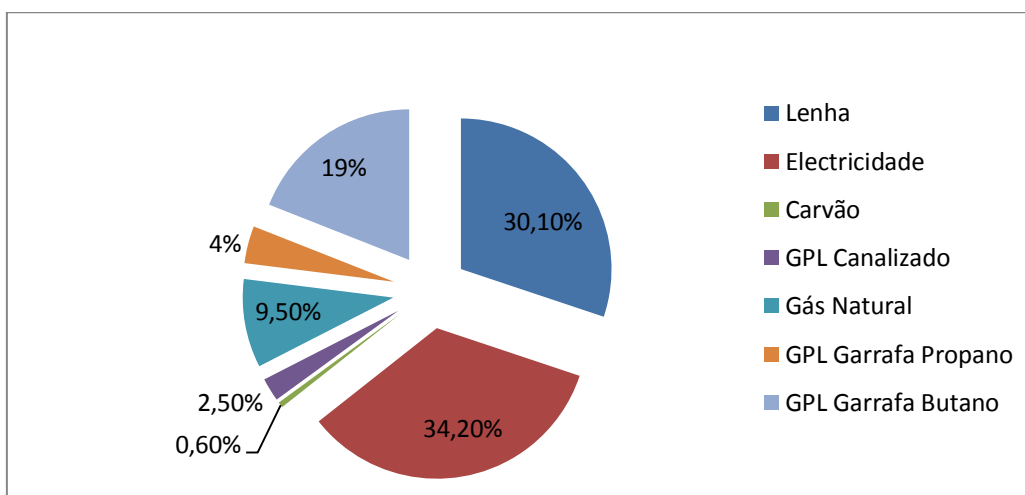


Fig. 2.17 - Distribuição do consumo de energia na Cozinha por tipo de fonte [6]

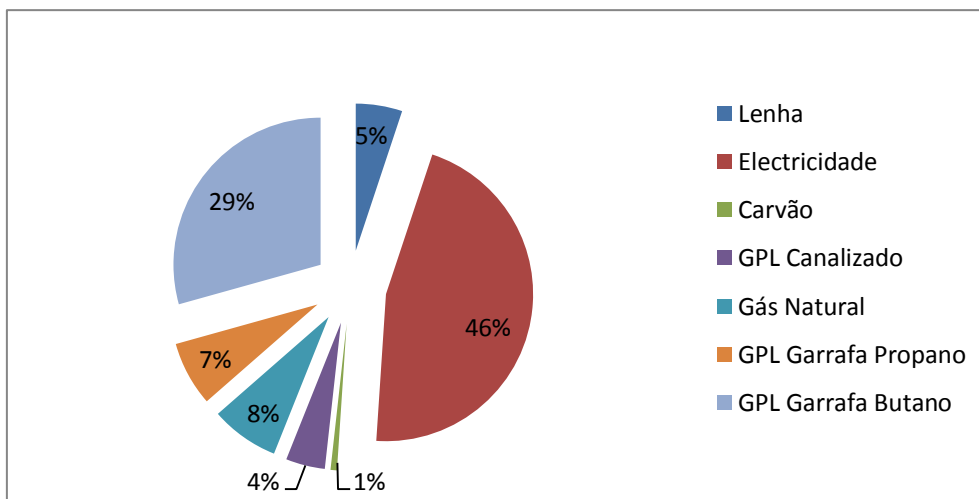


Fig. 2.18 - Distribuição da despesa com energia na Cozinha por tipo de fonte [6]

Resumindo os valores apresentados ao longo deste tópico, por forma a evidenciar aquele que será o valor de referência do consumo de energia eléctrica por habitante por ano importante para o estudo prático a realizar neste trabalho, apresenta-se o seguinte quadro:

Quadro 2.1 - Determinação do consumo de energia eléctrica por habitante por ano

Consumo total no sector doméstico.	1,5 tep/alojamento [6]
No sector doméstico apenas 49,4% são gastos na habitação. [6]	0,741 tep/alojamento
A electricidade representa 42,6% desse consumo. [6]	0,3156 tep/alojamento
1GWh = 86 tep. [6]	3670 KWh/alojamento
1 Alojamento tem em média 2,7 habitantes. [6]	1359 KWh/habitante

Existem, contudo, nos dias de hoje formas, com considerável eficiência, para contornar alguns dos avultados consumos das várias formas de energia. As energias renováveis são o melhor exemplo disso mesmo. A utilização de recursos inesgotáveis para produção de energia, pode em muitos casos substituir, quase na totalidade do sector doméstico, os recursos energéticos esgotáveis mais utilizados nos dias de hoje. Se por ventura não houver possibilidade de garantir todas as necessidades energéticas recorrendo apenas a energias renováveis poder-se-á pelo menos minimizar a utilização de combustíveis fósseis, como veremos mais adiante no trabalho.

Posto isto, apresentam-se seguidamente dados relativos a energias renováveis de uma forma geral, para que seja possível posteriormente uma análise mais detalhada para cada fonte de energia renovável.

2.2. Soluções de produção de energia renovável

Será abordado nesta secção o panorama geral das energias renováveis na actualidade, passando pelas políticas e estratégias nacionais e europeias associadas ao seu estabelecimento no quotidiano actual, sendo posteriormente feita uma análise individual de algumas das mais recorrentes

formas de obtenção de energia renovável, visando de uma forma geral os seus princípios de funcionamento, a sua rentabilidade e usufruto em Portugal, assim como as vantagens e desvantagens a cada fonte de energia associadas.

2.2.1. Energias renováveis

Nos últimos anos, tem-se assistido a um gradual aumento da utilização de fontes de energia renovável, com tendência a acentuar-se nos próximos anos.

De acordo com vários estudos, é espectável que a produção de electricidade proveniente de energias renováveis cresça dos 3577 TWh, produzidos em 2007, para os 7640 TWh em 2030. Prevê-se que a sua quota na produção total de electricidade suba dos 18% em 2007 para os 22% em 2030 [7].

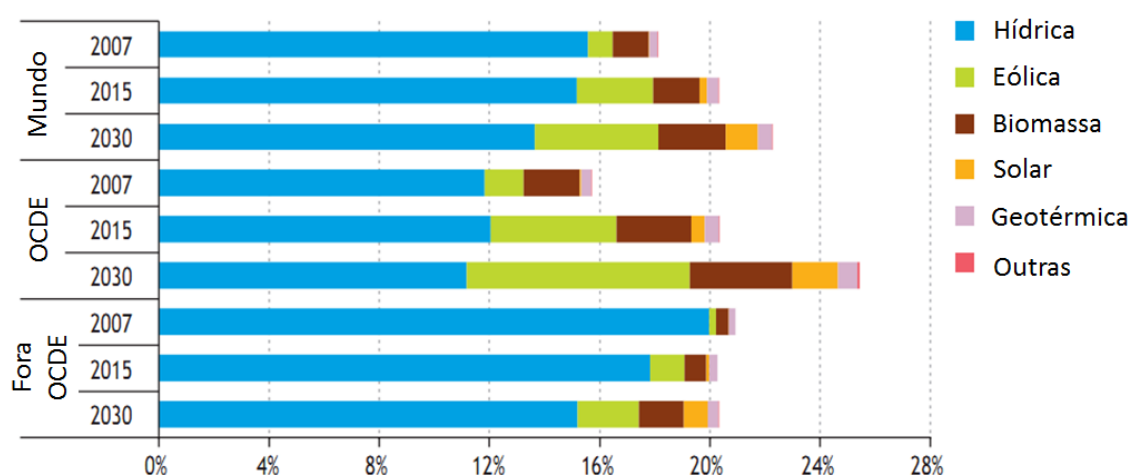


Fig. 2.19 - Evolução de produção de energia renovável até 2030 [7]

Vários factores têm vindo a proporcionar a proliferação destas formas de obter energia um pouco por todo o mundo, como por exemplo: o aumento gradual dos preços dos combustíveis fósseis, assim como as preocupações emergentes com a segurança energética e alterações climáticas, diminuição dos custos de investimento à medida que as novas tecnologias amadurecem (Figura 2.20) e consequente redução dos custos de produção (Quadro 2.2), implementação de políticas atractivas à produção de energia.

Quadro 2.2 - Projecção dos custos de produção de energia eléctrica (em €/kWh) de várias tecnologias renováveis, para os anos de 2015 e 2030 [8]

Fontes de Energia Renovável	2006	2015	2030
Hídrica	2,91 – 6,48	2,88 – 6,48	2,72 – 6,28
Biomassa e Resíduos	2,43 – 7,15	2,24 – 5,71	2,05 – 5,03
Eólica on-shore	6,38 – 7,44	5,71 – 6,57	5,13 – 5,99
Eólica off-shore	7,25 – 8,4	5,99 – 6,86	5,80 – 6,76
Geotérmica	4,94 – 5,8	3,88 – 5,42	3,01 – 5,03
Solar Térmica	11,00 – 26,79	7,82 – 19,38	5,51 – 14,66
Solar Fotovoltaico	23,71 – 49,62	12,74 – 26,79	8,62 – 18,61

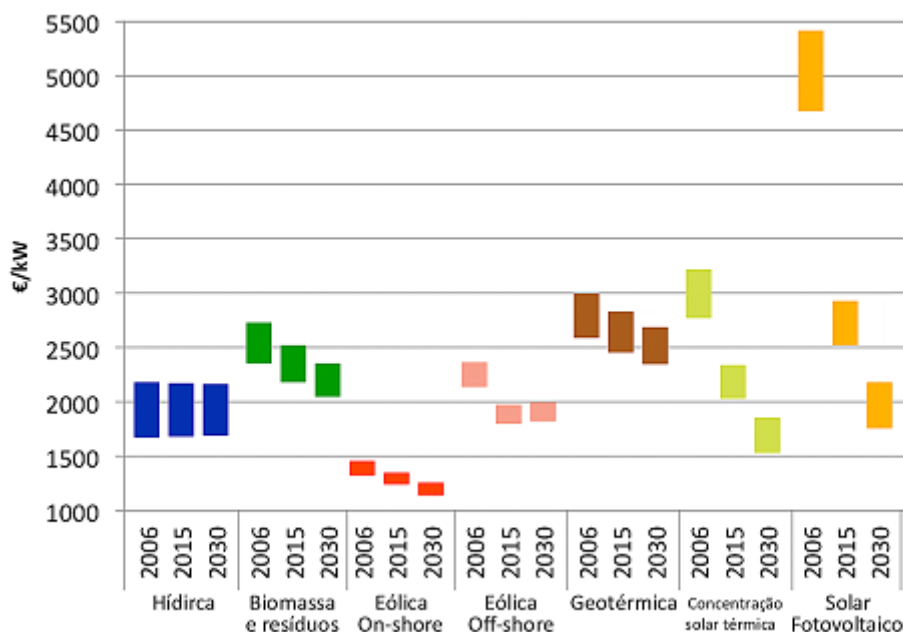


Fig. 2.20 - Projecção dos custos de investimento de várias fontes renováveis (em €/kW), para os anos de 2015 e 2030 [8]

2.2.2. Políticas e estratégias nacionais para a produção de energia

Perante a situação de dependência energética em que se encontra não apenas Portugal como também a grande maioria dos países europeus, a recente Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010, de 15 de Abril, aprovou a última Estratégia Nacional para a Energia, (ENE 2020), conferindo às energias renováveis um papel fundamental na estratégia energética.

Visando as metas estabelecidas pela União Europeia, que estabelecem:

- 20% de quota de energias renováveis no consumo total de energia na União Europeia;
- 20% de redução mínima das emissões de GEE's (comparação com os níveis de 1990);
- 20% de redução do consumo de energia final

A ENE 2020, apresenta como principais objectivos [9]:

- Reduzir a dependência energética do país face ao exterior, passado de 83% em 2008 para 74% em 2020, o que equivale a uma poupança de 95M de barris de petróleo;
- Cumprir os compromissos de 2020 assumidos por Portugal no contexto europeu: 31% de fontes de energia renovável no consumo de energia final reduzindo ao mesmo tempo 20% do consumo energia final;
- Reduzir o saldo importador de energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas: redução de 25% face a 2008 o equivale a uma redução de importações de €2.000 M anuais (2020);

- Consolidar o cluster das energias renováveis em Portugal: assegurar um Valor Acrescentador Bruto de €3.800 M em 2020; criação de mais 100.000 novos postos de trabalho, a acrescer aos 35.000 já existentes;
- Continuar a desenvolver os sectores associados à promoção da eficiência energética: assegurar a criação de 21.000 novos postos de trabalho; gerar um investimento previsível de €13.000 M até 2020 e exportações adicionais de €400 M;
- Promover o desenvolvimento sustentável: criar condições para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas pelo País.

Relativamente à aposta nas energias renováveis mais concretamente, foram estabelecidas algumas metas importantes de serem mencionadas no âmbito deste trabalho.

Para o aproveitamento da Energia Eólica dever-se-á apostar na instalação da potência já atribuída de 2.000 MW até 2012, na exploração do potencial de sobre-equipamento e no desenvolvimento de novos concursos que permitam atingir 8.500 MW em 2020, tendo em conta a evolução da procura de electricidade, da penetração dos veículos eléctricos e da viabilidade técnica e económica das tecnologias eólicas off-shore [10].

Relativamente à Energia Solar, a sua exploração deverá passar por: instalação de 1.500 MW até 2020, de acordo com a evolução das diferentes tecnologias; actualização do programa de micro-geração e introduzir um programa de mini-geração destinado a projectos com potências até 250 kW em função das tecnologias; atribuição de potência para projectos de demonstração em concentração solar, como base para a criação de um cluster industrial neste domínio; continuação na aposta no solar térmico [10].

2.2.3. Soluções para a produção de energia

Feito o enquadramento político e geral das energias renováveis, serão agora apresentadas as diversas soluções actualmente à nossa disposição para produção de energia renovável.

Perante todas as evidências já apresentadas ao longo do trabalho, recorrer aos recursos naturalmente reabastecidos a um ritmo sustentável é como todos sabemos a escolha mais equilibrada e eficaz, para fazer face ao panorama energético actual. Esses recursos estão incluídos em formas tao simples e abundantes como o sol, vento, marés e até o calor da Terra.

A cada uma destas fontes corresponde uma ou mais formas possíveis de geração de energia. Então recorrendo ao sol poderá ser produzida energia solar térmica e fotovoltaica; recorrendo ao vento é possível produzir energia eólica; com o recurso às marés é possível gerar energia através das ondas; o calor da Terra permite-nos a obtenção de energia geotérmica e ainda recorrendo a matéria orgânica será possível a obtenção de biomassa e biocombustíveis.

2.2.3.1. Energia solar fotovoltaica

Entende-se por energia solar como a captação de energia luminosa proveniente do sol para uma posterior conversão dessa energia em qualquer forma que nos seja útil, neste caso em particular fala-se de conversão em energia eléctrica.

Esta conversão é conseguida por meio de células fotovoltaicas, constituídas por sílica, fósforo e boro através do processo de transferência de fotões da radiação solar incidente para os electrões da estrutura atómica receptora [11].

Nos materiais semicondutores sob o efeito de uma radiação luminosa, a energia dos fotões incidentes é directamente transferida para o sistema electrónico do material, podendo excitar electrões da banda de valência para a banda de condução dando origem à criação de pares electrão (absorção). Para obter uma corrente eléctrica é criada uma estrutura de separação dos portadores de carga foto-gerados, por acção do campo eléctrico interno, antes de se recombinarem. Segue-se logo a extracção das cargas em corrente contínua para utilização. A este efeito dá-se o nome de efeito Fotovoltaico [12].

Vantagens

As principais vantagens que se podem argumentar para a energia solar fotovoltaica são:

- Utilização de um “combustível” inesgotável de dimensão universal e obtido de forma gratuita;
- Não é poluente;
- Uma durabilidade acima dos 30 anos, praticamente sem qualquer manutenção, havendo apenas necessidade de remoção de possíveis poeiras inibidoras de uma eficiente recepção da radiação solar;
- O seu carácter modular, permite uma fácil expansão;
- Excelente alternativa quando se pretende uma instalação em locais remotos e de difícil acesso;
- Possibilidade de substituir revestimentos tanto para uma aplicação em coberturas como em fachadas;
- Descentralização da produção de energia, com melhorias para a rede eléctrica local;
- Menor desperdício de transmissão de energia comparativamente com linha eléctrica convencional;
- Um mercado em grande expansão, proporcionando um cada vez maior rendimento das células fotovoltaicas;
- Possibilidade de haver várias empresas no ramo, aumentando a competitividade, o que se poderá reflectir não apenas nos preços das instalações como também em melhorias na economia;

Desvantagens

Relativamente às desvantagens podem salientar-se:

- O facto de os painéis apresentarem ainda um rendimento um pouco reduzido, isto é, uma baixa conversão de energia solar em energia eléctrica. A razão deste facto reside fundamentalmente na deficiente exploração do espectro da radiação incidente (sol) por parte dos dispositivos;
- Elevados custos de produção dos painéis, devido sobretudo à pouca disponibilidade de materiais semicondutores, factor este, que no entanto está a perder relevância devido ao desenvolvimento das microtecnologias;
- Grande dependência da situação climática, fazendo com que diminua a captação de radiação solar por parte dos painéis, para além disso, como é natural, durante o período nocturno não é possível qualquer produção, o que leva à necessidade da existência de meios de armazenamento de energia;
- Quando instalado em meio urbano, exige uma análise detalhada de factores de sombreamento que possam afectar o perfeito rendimento do painel;

2.2.3.2. Energia solar térmica

Usufruindo ainda da fonte de energia solar, é possível o seu aproveitamento para fins térmicos, tanto de forma passiva como activa, sendo esta última conseguida por intermédio de colectores solares.

A energia solar térmica passiva é conseguida de forma muito simples através de concepções e estratégias construtivas recorrendo a um bom planeamento e orientação do edifício levando a uma optimização do aproveitamento da energia solar, tendo em conta a incidência dos raios solares, conseguindo assim uma melhoria para aquecimento de edifícios.

Recorrendo a colectores solares térmicos será possível o aproveitamento da energia solar incidente para o aquecimento sobretudo de águas sanitárias e não só.

O seu funcionamento é bastante simples: “a água que provém do sistema de abastecimento é desviada para um depósito acumulador que por sua vez lhe fornece o colector. Os painéis solares captam a radiação solar e transferem essa energia em forma de calor à água que é posteriormente armazenada no acumulador, e colocada à disposição em qualquer ponto de consumo sem necessidade de alterar o sistema de distribuição de água quente existente.

Em função da aplicação utilizam-se diferentes tipos de colectores solares térmicos, variando também a complexidade da instalação. Desta forma, podem utilizar-se colectores solares planos em aplicações típicas de aquecimento de água sanitária, colectores com tubos de vácuo em aplicações de aquecimento ambiente e aquecimento da água em piscinas cobertas, colectores de polipropileno sem cobertura em piscinas ao ar livre, etc.

Nos últimos anos verificou-se a um aumento notável de instalações de energia solar térmica devido, quer a uma maior sensibilidade social e política em termos ambientais, quer à melhoria contínua e redução de custos neste tipo de equipamentos” [13].

Mais adiante, no Capítulo 3, serão exaustivamente aprofundados os requisitos, tecnologias inerentes, funcionamento e rendimentos dos sistemas de aproveitamento de energia solar, tanto térmica como fotovoltaica, por esse motivo não será mais desenvolvido este tema para já.

Vantagens e Desvantagens

As vantagens e desvantagens respeitantes a esta forma de obtenção de energia em pouco diferem da solar fotovoltaica. De referir apenas o seu maior rendimento, sendo que é conseguido por parte dos painéis solares térmicos, um rendimento muito próximo dos 90%, tornando esta, uma alternativa ainda mais viável que a anterior.

2.2.3.3. Biomassa

A biomassa florestal é a forma mais primitiva de produção de energia. Folhas, troncos, etc, foram dos primeiros materiais a ser utilizados pelo Homem para as suas numerosas tarefas que requerem consumo de energia tais como, cozinhar, aquecimento e até mesmo para auto defesa. Muitos desses recursos têm vindo sucessivamente a ser substituídos por outros meios mais eficazes.

Contudo a conjuntura actual, assente numa enorme dependência energética exterior e num aumento generalizado dos preços dos combustíveis fósseis levam-nos a ponderar a necessidade de voltar a utilizar produtos energéticos naturais.

Actualmente os tipos de biomassa mais utilizados para fornecer energia são:

- Resíduos florestais e das indústrias da fileira florestal
- Resíduos agrícolas e das indústrias agro-alimentares bem como os seus efluentes
- Excreta animal proveniente das explorações pecuárias
- A fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos
- Esgotos urbanos
- Culturas energéticas incluindo as culturas de curta duração

“A evolução tecnológica dos equipamentos a biomassa permitiu que estes atingissem rendimentos equiparáveis aos sistemas convencionais utilizadores de energias fósseis, dando origem a uma grande diversidade de produtos adaptáveis às mais diversas aplicações. Por outro lado, o aparecimento de combustíveis derivados da biomassa (ex. pellets², briquetes³, estilhas⁴), com maior poder calorífico, contribuiu para o incremento da qualidade e rentabilidade deste tipo de soluções.

² Formas mecanicamente estáveis de pó e serradura de madeira compactada [12].

³ São prensados da mesma forma que as pellets, a partir das estilhas de madeira e serradura [12].

⁴ São produzidas a partir de resíduos do processamento de madeira [12].

As aplicações térmicas no sector da biomassa dividem-se essencialmente na produção de calor e água quente sanitária. Hoje em dia existem equipamentos a ar que fornecem aquecimento a apenas uma divisão, ou recuperadores de calor, estufas e caldeiras a água que abastecem um circuito de radiadores ou piso radiante, e produzem ainda águas quentes sanitárias.

Sublinhe-se que a combustão de biomassa florestal nas aplicações descritas é unânime e ambientalmente considerada como uma prática mitigadora das alterações climáticas. O dióxido de carbono absorvido no período de crescimento da matéria vegetal é posteriormente libertado na atmosfera na fase de combustão, encerrando assim um ciclo neutro de emissões de carbono. Tal não acontece com outros combustíveis fósseis, que apesar de constituírem igualmente matéria orgânica formada naturalmente, a libertação de dióxido de carbono ocorre num curto espaço de tempo tendo demorado milhões de anos a acumular-se” [13].

Bioenergia

A energia obtida através da matéria orgânica é denominada por Bioenergia. Esta resulta da conversão da radiação solar em energia química, realizada pela biomassa vegetal no seu processo de fotossíntese.

A Bioenergia é portanto um “recurso energético renovável e representa, presentemente, cerca de 11% do consumo de energia primária mundial constituindo o único recurso energético com carbono que se considera emissor neutro de CO₂”, pelas razões já anteriormente explicitadas [14].

Processo de Conversão

O processo de conversão da biomassa sólida em energia (Figura 2.21), começa primeiro, pela recolha das suas componentes, podendo também passar por um processo de conversão destas componentes em produto, sendo posteriormente transportado ao local de consumo, onde será efectuado o seu aproveitamento energético.

A forma de aproveitamento energético mais comum é a combustão, tanto para uma eventual produção de calor, como para produção de energia eléctrica (conversão termoquímica).

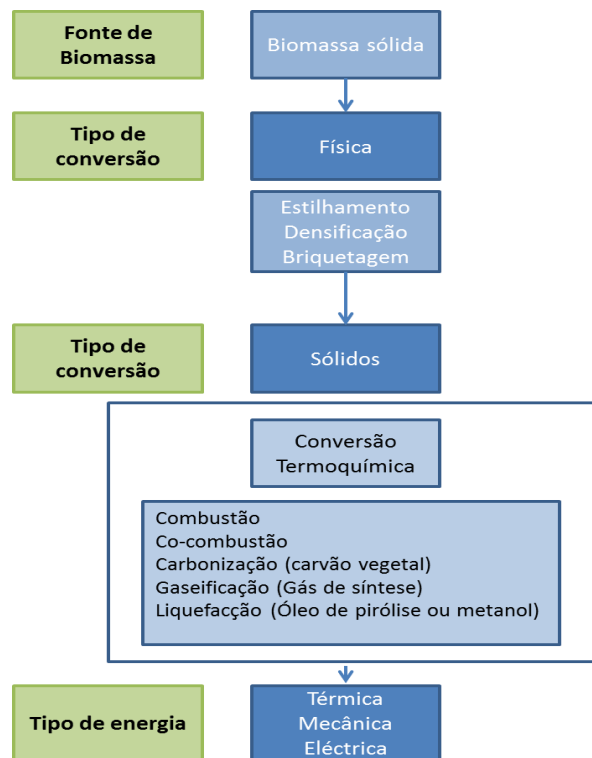


Fig. 2.21 - Processo de Conversão de Biomassa [15]

Situação em Portugal

A floresta cobre cerca de 38% do território nacional. A tipologia dessas florestas está distribuída da seguinte forma:

Quadro 2.3 - Área florestal de Portugal [12]

Tipo de Floresta	Área [milhares de ha]
Pinhal e resinosas	1136,3
Montados	1196,4
Soutos e Carvalhais	174,9
Eucalipto	695,1
TOTAL	3306,1

Todavia estes números não revelam a realidade do panorama actual de aproveitamento do potencial da biomassa florestal.

Alguns factores vêm contribuindo também para o “abandono” florestal, como: escassez de equipamentos para sistemas de recolha apropriados, ausência de estrutura no sector, grande concorrência de outros sectores como do gás, tratamento fiscal desadequado, onde a Biomassa está sujeita à taxa de IVA normal 23%.

Em Portugal assiste-se sobretudo a um aproveitamento da biomassa florestal, não havendo quaisquer dados de referência ao sector agrícola, que num país como o nosso poderiam desempenhar um interesse exploratório considerável caso fossem consideradas opções como: resíduos da vinha, indústria do vinho, podas de oliveiras e árvores de frutos, do bagaço da azeitona, etc.

2.2.3.4. Energia eólica

Um outro valioso e abundante recurso oferecido pela mãe natureza é o vento. Desde há milhares de anos que o vento tem sido inteligentemente utilizado para as mais diversas tarefas tais como em meios de transporte (barcos à vela), bombear água ou permitir o funcionamento de actividades industriais, como era o caso dos moinhos de vento.

Dando continuidade a essa capacidade de raciocínio por parte do Homem, é possível hoje olhar para o vento como um meio de produção de energia mais evoluído. Assume-se hoje como um importante meio de produção de energia eléctrica, seja para utilização local descentralizada ou até mesmo para grandes parques eólicos ligados á rede eléctrica.

“A energia eólica representa o aproveitamento da energia cinética contida no vento para produzir energia mecânica (a rotação das pás) que pode a seguir ser transformada em energia eléctrica por meio de um gerador eléctrico.

Um aerogerador moderno é constituído por uma torre de 50 a 120 metros de altura, em cima da qual se encontra o rotor, com 3 pás na maior parte dos casos (cada pá tem um comprimento de 25 a 45 metros), e a *nacelle*, que abriga o gerador propriamente dito, bem como os sistemas de controlo da máquina.

O vento põe em movimento as pás, que dão entre 10 a 25 voltas por minuto aproximadamente. O gerador contido na *nacelle* transforma a energia mecânica deste movimento de rotação em energia eléctrica. Um controlo automatizado em tempo real permite à *nacelle* girar para estar sempre face ao vento, e as próprias pás ajustam permanentemente a sua inclinação para maximizar sempre a energia captada.

As turbinas eólicas mais frequentemente instaladas em parques eólicos hoje em dia têm uma potência de 2 a 3 MW (megawatts) cada uma; ou seja, um aerogerador deste tipo permite responder às necessidades em electricidade de 2000 a 3000 lares.

A energia produzida por qualquer aerogerador aumenta com a velocidade do vento (até certo limite: em caso de ventos demasiado fortes, o aerogerador pára e orienta as pás paralelamente ao vento para se proteger). Os sítios mais ventosos encontram-se geralmente perto do mar, ou no alto das montanhas, devido ao efeito de aceleração que o relevo tem sobre o vento. Num determinado lugar, a velocidade do vento aumenta normalmente com a altitude, já que o vento longe do solo sofre menos o efeito da fricção com a superfície terrestre, e é por isso que as turbinas são montadas em torres altas” [16].

Tipologias de Turbinas Eólicas

Existem dois principais tipos de turbinas eólicas: de eixo horizontal e de eixo vertical.

- Turbina de eixo horizontal⁵

Estas turbinas fazem uso do mesmo princípio básico das modernas turbinas hídricas, isto é, o escoamento é paralelo ao eixo de rotação das pás da turbina [17].

São o tipo de turbinas mais comuns, de accionamento por forças sustentadoras e aplicadas na maior parte dos parques de produção de energia eléctrica.

Actualmente a maior parte são constituídas com três pás, no entanto é possível e existem turbinas com duas e apenas uma pá (eventualmente com menor custo em material). A principal desvantagem, destas turbinas com duas ou uma pá é a menor estabilidade da turbina [12].

- Turbina de eixo vertical⁶

Baseiam-se num princípio semelhante as clássicas noras de água, onde a água chega perpendicularmente em relação ao eixo de rotação da nora. Utilizadas também para a produção de energia eléctrica, e tem como principais vantagens [12]:

- ✓ A independência da direcção do vento, no entanto os esforços nas pás exercidos pela força centrífuga limita a sua velocidade;
- ✓ Maior rendimento em comparação com as turbinas de eixo horizontal;
- ✓ Uma forma de diminuir a instabilidade da pá é dar uma forma arqueada, ou “C” as pás (turbina de "Darius" de Georges Darrieus, desenhadas em 1931), existindo contudo uma redução do rendimento;
- ✓ O gerador pode estar no solo e pode-se prescindir de uma torre, para a máquina;

As principais desvantagens das turbinas de eixo vertical são [12]:

- ✓ Velocidades baixas junto do solo (junto da parte inferior do rotor);
- ✓ Arranque “forçado”, ou seja, a máquina necessita de um “empurrão” antes de arrancar;
- ✓ Em alguns casos existe a necessidade de cabos tensores, aumentando a área de ocupação;
- ✓ Em caso de substituição do rolamento principal é necessário desmontar toda a turbina;

Todavia, em aplicações de pequena escala, este tipo de turbinas podem ser alternativas às turbinas de eixo horizontal. Nomeadamente quando se trata da sua instalação em contexto urbano, esta poderá ser uma alternativa bastante viável.

Processo de Conversão

Conforme o referido anteriormente, a energia cinética resultante das deslocações de massas de ar, pode ser transformada em:

⁵ HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine

⁶ VAWT – Vertical Axis Wind Turbine

- Energia mecânica através de aeromotores;
- Energia eléctrica através de turbinas eólicas ou aerogeradores

Ainda assim falta saber como quantificar as potências em causa. A potência mecânica disponível (P) numa turbina, tem uma enorme dependência da velocidade do caudal de ar que passa através dela, fazendo com que o interesse neste recurso varie muito com a intensidade e direcção do vento.

A potência de vento que passa perpendicularmente através de uma área circular é dada pela seguinte expressão:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times \pi \times r^2 \quad (2.1)$$

Sendo:

P – Potência disponível do vento em Watts [W]

ρ – Densidade do ar seco⁷

v – Velocidade média do vento [m/s]

r – Raio do rotor em metros [m]

Situação em Portugal

De 2002 para cá, devido a implementações legislativas específicas para fontes de energia renováveis, tem-se vindo a verificar um crescimento exponencial da energia eólica, atingindo mais de 4000 MW instalados em 2011, ou seja, o necessário para produzir 15% da electricidade consumida em Portugal [16].

A seguinte figura permite observar a distribuição da produção de energia eólica instalada ao longo de todo o território nacional.

⁷ $\rho = 1,225 \text{ Kg/m}^3$, em condições de pressão e temperatura normais [17].

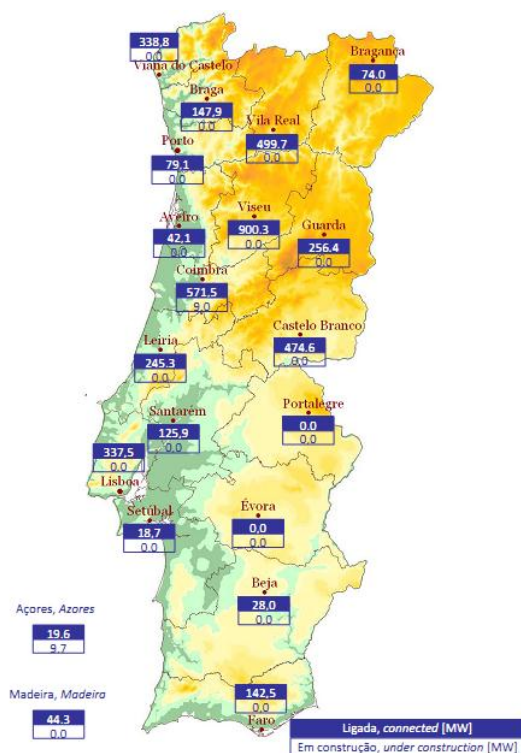


Fig. 2.22 - Capacidade geradora por Distritos e Regiões Autónomas [18]

O gráfico que seguidamente é apresentado, representa a evolução dos valores anteriormente mencionados ao longo dos últimos quinze anos.

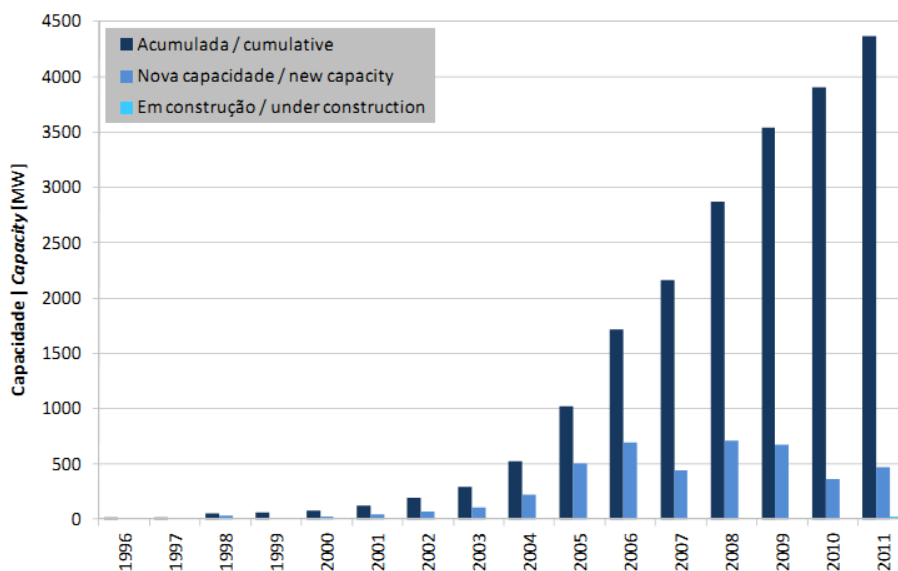


Fig. 2.23 - Capacidade geradora acumulada nos últimos 15 anos [18]

Vantagens

Dentro das variadíssimas vantagens que podem ser citadas, para esta energia alternativa, destacam-se as seguintes [16]:

- Os aerogeradores modernos constituem modos eficientes de produção de electricidade, convertendo com elevada eficiência um recurso totalmente renovável, o vento, em electricidade de grande qualidade;
- Produção de electricidade a um custo conhecido, que não depende das variações futuras do preço dos hidrocarbonetos;
- É uma fonte de energia descentralizada que cria actividade económica e empregos em zonas rurais e em maior quantidade por MW, do que as formas mais centralizadas de produção de electricidade;
- O funcionamento de uma turbina eólica não produz nem emissões tóxicas ou poluentes nem lixo e permite a continuação de actividades (por exemplo agrícolas) no terreno envolvente; mesmo quando se considera todo o ciclo de vida de uma central eléctrica (construção, exploração, desmantelamento), a energia eólica é, de longe, a fonte com o menor impacte ambiental, nomeadamente em termos de emissões de gases com efeito de estufa, responsáveis pelas alterações climáticas;
- É preciso perceber que não existe nenhuma forma de produzir electricidade sem nenhum impacte sobre o ambiente e portanto, a partir do momento em que precisamos de energia, é preciso optar entre várias opções. O maior impacte da energia eólica é talvez, depois do fim da construção, o impacte visual. No entanto, o ponto crucial é que um parque eólico é uma instalação completamente reversível, o que não é o caso das centrais térmicas, das nucleares, nem sequer das centrais hídricas: no fim de vida de um parque eólico, o local pode ser restaurado e recuperado para o seu estado inicial.

Microgeração

Na sequência das iniciativas inovadoras já mencionadas no tópico 2.2.2, também na área da Microgeração Portugal foi dos primeiros países a publicar legislação e regimes tarifários aplicáveis não só à Microgeração fotovoltaica (que mais adiante será estudada) como também eólica. O Decreto-Lei 363/07 permitiu um enquadramento legal, tarifário e técnico dos sistemas de Microgeração provenientes das mais diversas fontes de energia.

No que ao contexto da energia eólica diz respeito e “ao contrário do que na generalidade se pensa, a energia eólica urbana tem elevado potencial de exploração num cenário de consumo energético sustentável, quer ao nível da instalação de turbinas de pequena capacidade para o sector doméstico – turbinas de eixo horizontal e eixo vertical nos topos e/ou áreas envolventes a edifícios e vivendas – quer ao nível da sua integração em edifícios desde que a concepção dos mesmos seja efectuada de forma a prever este tipo de aproveitamento energético. Importa salientar que o aproveitamento de energia eólica em ambiente urbano é inteiramente compatível com outras tecnologias de Microgeração de electricidade; como sistemas fotovoltaicos ou de Microgeração a gás

– pelo que a sensibilização para configurações de Microgeração de tipo misto (também denominado híbrido) deve ser impulsionada junto dos consumidores, em especial em zonas urbanas caracterizadas por elevados regimes de vento” [19].

As microturbinas eólicas passíveis de integrar na Microgeração eólica, estão classificadas de acordo com a norma IEC 61400-2, da seguinte forma:

Quadro 2.4 – Subclassificação de pequenas turbinas eólicas [19]

Sub- Classe	Diâmetro do rotor [m]	Classificações Normativas (Área varrida A [m ²])	Classificações comuns (Potencia nominal, P_u [kW])	Aplicações
Micro turbina	$D < 1,6$ m	$A < 2$ m ²	< 5 kW	Domésticas
Mini turbina	$1,6$ m $< D < 5$ m	$2 < A < 78,5$ m ²	$5 < P_u < 50$ kW	Urbanizações e pequenas empresas
Pequena turbina	5 m $< D < 16$ m	$78,5 < A < 200$ m ²	$50 < P_u < 500$ kW	Grandes urbanizações e PMEs de consumo significativo

Quanto ao usufruto da energia eléctrica produzida, e a sua integração (ou não) numa rede pré-existente, à semelhança do que sucede com a energia solar fotovoltaica, as pequenas turbinas eólicas dizem-se “interligadas” à rede eléctrica quando dispõem de um sistema que lhes permite entregar a energia produzida à rede de distribuição e, funcionando em “regime isolado” da rede, quando operam independentemente desta, necessitando nestes casos de um sistema de armazenamento de energia eléctrica.

2.2.3.5. Energia geotérmica

O calor da Terra é um recurso que também ele pode ser aproveitado para produção de energia. A sua eficiência depende de locais com actividade vulcânica onde existam águas ou rochas a temperaturas elevadas e zonas onde seja possível atingir estratos magmáticos.

A energia contida no interior do planeta sob a forma térmica é transmitida para a crosta terrestre sobretudo por condução. Esta representa uma potência de 10.000 vezes da energia consumida por ano no mundo actualmente.

Processo de Conversão

Nos processos geotérmicos existe transferência de energia por convecção, tornando útil o calor produzido e contido no interior da Terra. O seu aproveitamento também pode ser feito por injeção de água a partir da superfície em maciços rochosos quentes.

Recorrendo a esta fonte de energia é possível obter energia eléctrica por meio de uma turbina movida a vapor de água, que é produzido pelo aquecimento proveniente do interior da Terra. Esta

forma de obtenção de energia está normalmente associada a altas temperaturas ($T > 150^{\circ}\text{C}$), provenientes de áreas de actividade vulcânica, sísmica ou magmática.

A sua utilização também poderá recair para fins de aquecimento em estufas ou em bombas de calor para aquecimento dos edifícios. Este tipo de aproveitamento está associado a temperaturas mais baixas, que resultam geralmente da circulação de água de origem meteórica em falhas e fracturas e por água existente em rochas porosas a grande profundidade com temperaturas inferiores a 100°C .

2.2.3.6. Energia das ondas

A energia das ondas é das formas de obtenção de energia dos oceanos que apresenta maior potencial, tendo origem directa no efeitos dos ventos gerados pela radiação solar incidente.

Processo de Conversão

As ondas do mar possuem energia cinética devido ao movimento da água e energia potencial devido à sua altura. Usufrindo precisamente desse movimento oscilatório das ondas será então possível a obtenção de energia eléctrica.

O aproveitamento é realizado em ambas as fases da maré, sendo que na maré alta enche o reservatório e a passagem de água através da turbina permite a produção de energia eléctrica. Já na maré baixa o processo inverte-se mas o aproveitamento mantém-se, seguindo a água agora no sentido contrário.

Existem sistemas de produção eléctrica junto da costa, portanto em água pouco profundas e sistemas em águas profundas.

- Sistemas de águas pouco profundas

Normalmente associados a profundidades entre os 8 e os 20 metros, apoiados directamente na costa, ou próximos dela (possivelmente associados a obras de protecção costeira). São por vezes considerados de primeira geração, por serem praticamente os únicos que atingiram a fase de protótipo.

O sistema de coluna de água oscilante é o tipo mais bem-sucedido. A tecnologia envolvida é relativamente convencional. A peça de equipamento mais específica é uma turbina de ar que acciona um gerador eléctrico.

A sua principal vantagem reside no facto dos problemas de transporte de energia para terra e de acesso para manutenção serem de relativamente fácil resolução.

Como desvantagem destaca-se o facto de a sua localização depender dum conjunto de factores geomorfológicos favoráveis na vizinhança imediata da costa, e os bons locais para construção não abundam, assim como o impacte visual significativo [12].

- Sistemas de águas profundas

Situados normalmente em profundidades entre os 25 e os 50 metros, por vezes designados de segunda geração. Em geral o órgão principal é um corpo oscilante flutuante ou, mais raramente, totalmente submerso. O sistema de extracção de energia pode ainda utilizar a turbina de ar, ou equipamentos mais sofisticados (sistemas óleo-hidráulicos, motores eléctricos lineares, etc.).

Contudo a sua maior complexidade, transporte de energia para terra, amarração ao fundo e acesso para manutenção têm impedido que o seu grau de desenvolvimento atingisse o da coluna de água oscilante.

2.3. Factores para a produção de energia solar

2.3.1 Zona climática

Apresentadas algumas das formas mais recorrentes para a produção de energia, ficou bem patente um ponto determinante – o facto de todas elas dependerem das condições naturais da região onde se pretendem enquadrar.

Uma vez que estão em análise fontes de energia alternativas, portanto naturais, é vital, para a sua viabilidade, que se estude as condições climáticas de que dependem.

2.3.1.1. Situação de Portugal

Portugal é dos países da Europa com maior potencialidade de aproveitamento de energia solar. Devido à sua latitude encontra-se numa posição vantajosa relativamente à grande maioria dos países da Europa, sendo um dos países com maior índice de radiação solar (Figura 2.24).

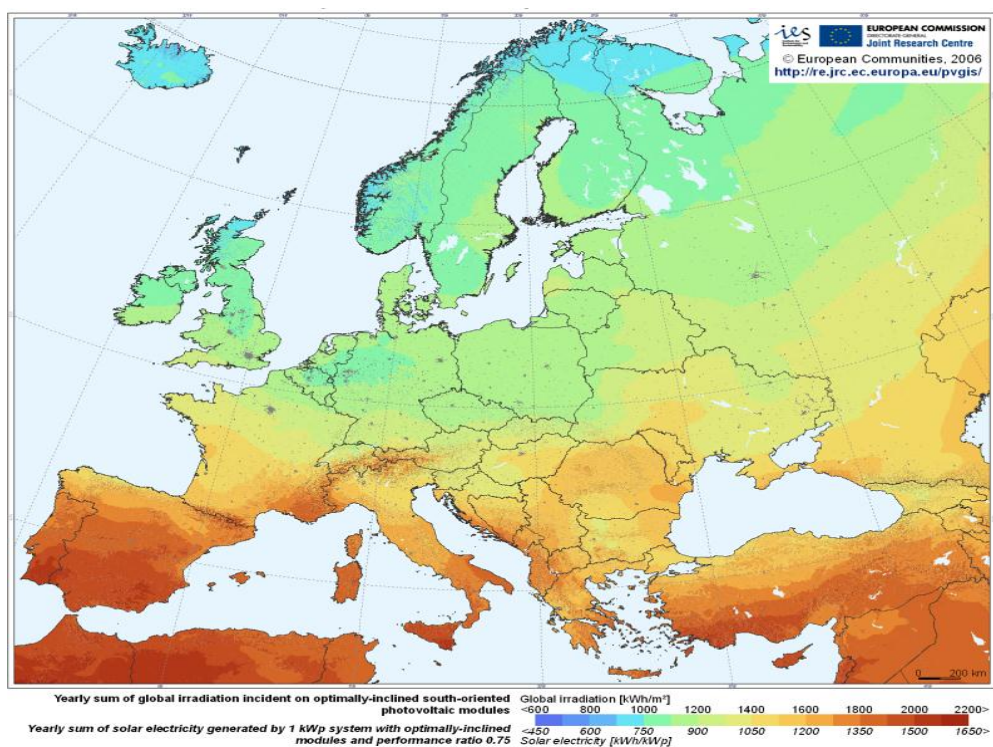


Fig. 2.24 - Radiação solar incidente na Europa [20]

Concretamente ao território de Portugal Continental, de acordo com o Projecto GREENPRO [21], o valor do somatório da média anual da irradiação solar global encontra-se no nosso território compreendido entre 1.400KWh/m² e 1.700KWh/m². Apresenta-se graficamente a distribuição dos valores anteriormente mencionados por todo o território nacional.

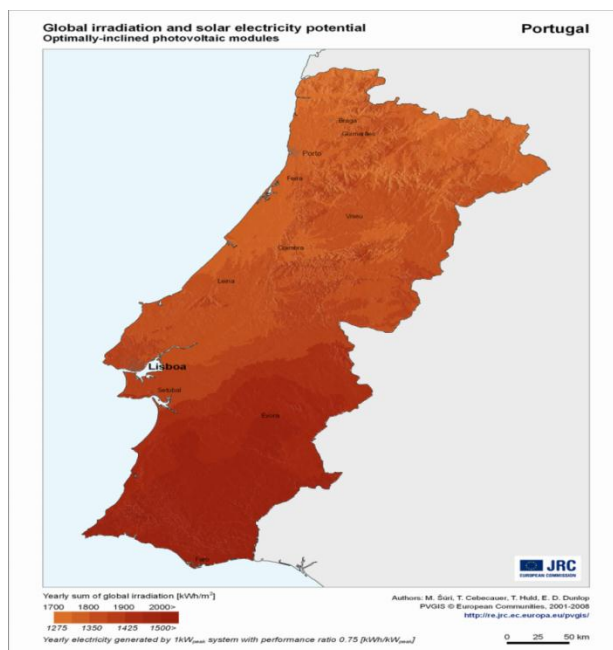


Fig. 2.25 - Radiação solar incidente em Portugal [20]

É ainda de grande relevância para o dimensionamento dos sistemas solares, conhecer o número de horas de luz (insolação) de que o nosso território dispõe. Também aqui Portugal se encontra numa situação favorável, dispondo de valores entre as 1.800 e 3.100 horas por ano. Vejamos a sua distribuição pelo território:

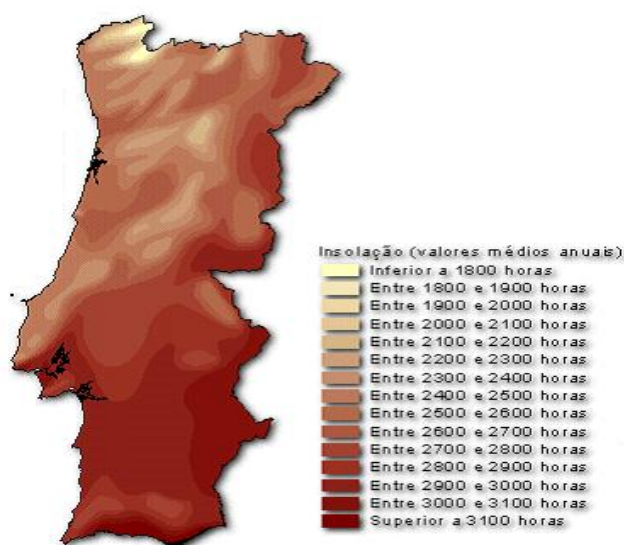


Fig. 2.26 - Insolação global em Portugal [21]

A título de exemplo, para melhor se entender o significado destas grandezas, olhemos para a seguinte demonstração. Conforme foi dito a radiação solar global no território nacional situa-se entre 1.400 KWh/m²/ano e 1.700 KWh/m²/ano. Consideremos então o valor de 1.500 KWh/m²/ano. Assumindo por exemplo um rendimento de conversão por parte do painel solar de 15% teremos então 225KWh/m²/ano de electricidade solar. Considerando que o consumo nacional é da ordem de 4.5 x 10¹⁰ kWh/ano, seriam precisos 200km² de painéis solares para produzir toda essa electricidade. Dividindo pelo número de habitantes significa 20m² de painéis solares por português, para responder não apenas ao consumo doméstico como também a todos os restantes sectores.

Todavia seria irrisório este número mas se “em Portugal, tivéssemos instalado um milhão de metros quadrados de painéis solares, poder-se-ia poupar entre 2 a 3% das importações em combustíveis fósseis” [11].

Uma vez apresentadas as condições naturais de Portugal para a produção de energia solar, apresenta-se seguidamente, de uma forma ainda algo simplificada, como elas intervêm no sistema de produção de energia solar.

2.3.1.2. Requisitos do sistema de produção de energia tendo em conta a exposição solar

A radiação solar global (E_G) é composta por: radiação solar directa (E_{dir}) proveniente do sol, a qual atinge a Terra sem qualquer mudança de direcção e por radiação difusa (E_{dif}) que chega aos nossos olhos através da difusão de moléculas de ar e partículas de pó. Esta inclui ainda a radiação reflectida pela superfície terrestre. Então:

$$E_G = E_{Dir} + E_{Dif} \quad (2.2)$$

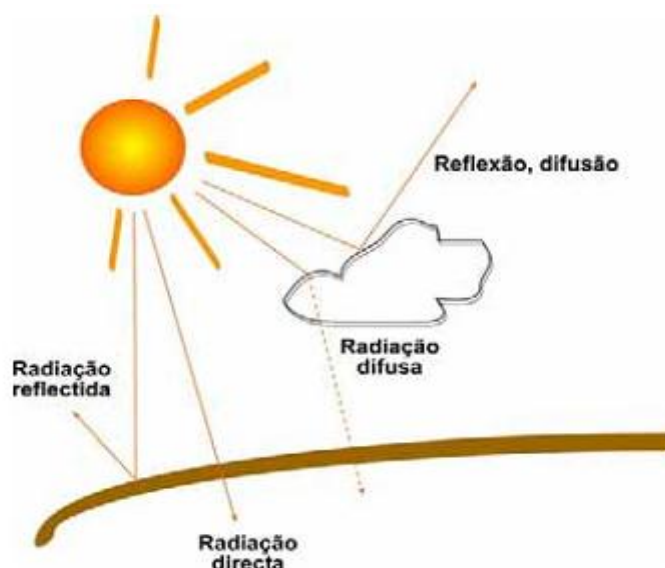


Fig. 2.27 - Componentes da radiação solar global [22]

Outro factor que afecta a captação da totalidade da energia solar é a nebulosidade. A energia irradiada tal como a quantidade de radiação difusa e directa varia com a quantidade de nuvens.

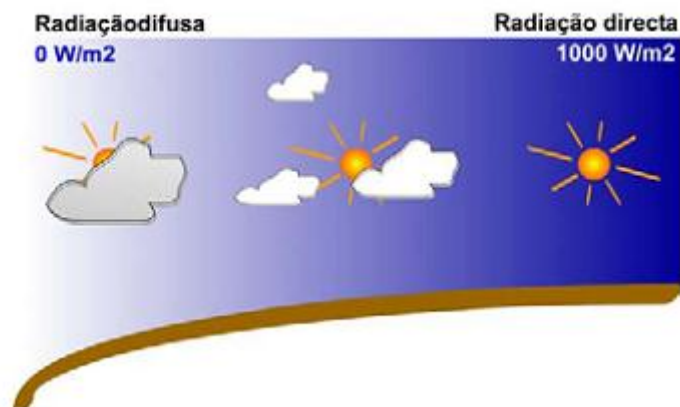


Fig. 2.28 - Variação da irradiação solar e suas componentes para diferentes condições de nebulosidade [22]

A orientação e inclinação do painel solar afecta drasticamente a quantidade das componentes de radiação anteriormente mencionadas, captadas pelo painel, no decorrer do dia e do ano. A escolha do ângulo de inclinação do painel é fundamental para o eficiente funcionamento, porque um posicionamento inadequado do painel conduz a perdas energéticas drásticas, sem esquecer que em condições de grande nebulosidade, metade da radiação que chega ao painel, chega sob a forma de radiação difusa [23].

Portanto, uma correcta orientação permite um valor máximo de radiação captada tendo em conta os diferentes ângulos de incidência solar ao longo do ano, a uma determinada latitude. Então o ângulo de inclinação óptimo para os meses de Inverno em que estamos perante uma menor “altura solar” será maior comparativamente com o Verão (Figura 2.29). Tendo sempre em conta que para países situados no hemisfério Norte a orientação favorável dos painéis será a Sul.

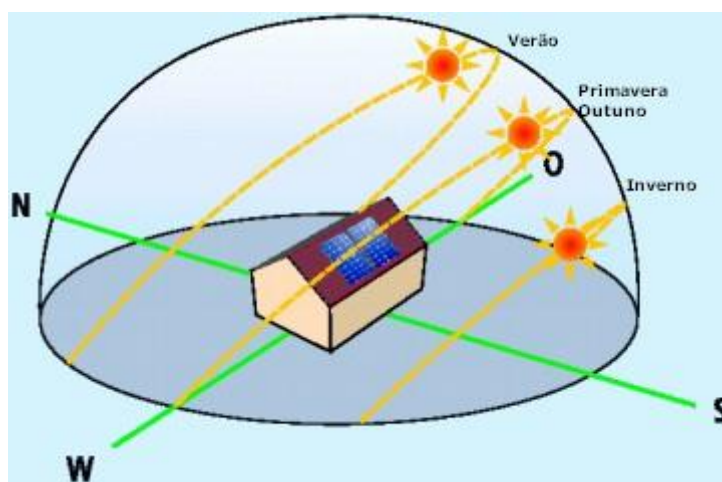


Fig. 2.29 - Progressão solar ao longo do dia e do ano [22]

Para otimizar a radiação captada pelo painel solar, tem-se em conta os seguintes ângulos:

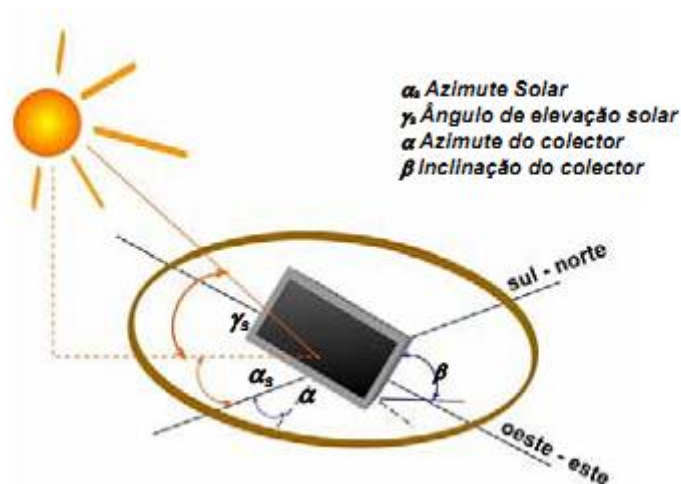


Fig. 2.30 - Descrição dos ângulos para tecnologia solar [22]

- *Azimute Solar, α_s*

É o ângulo entre a projecção horizontal dos raios solares e a direcção Norte-Sul no plano horizontal. É positivo se o Sol estiver a Oeste do Sul, e negativo se estiver a Este do Sul [24].

- *Ângulo de elevação solar, γ_s*

Ângulo formado pelos raios solares com o plano horizontal. Admitindo que os raios solares vêm do centro do sol [24].

- *Azimute do colector, α*

Ângulo formado pela direcção Sul-Norte com a projecção no plano horizontal da normal ao painel [24].

Os valores definidos para estes ângulos estão dependentes da Latitude do lugar em questão como será demonstrado no Capítulo 3.

Todavia, esta orientação e inclinação favoráveis serão certamente fáceis de garantir quando se pretende uma instalação em locais remotos em que a falta de espaço não é de todo um problema. Para a sua implementação em meio urbano, muitos problemas e obstáculos terão de ser tidos em conta e contornados.

Em meio urbano, à partida, já existirá uma malha urbanística bem definida, impossível de contrariar. Ocorrências de edifícios adjacentes cujas alturas e sombreamentos causados não poderão ser manipulados. As áreas das coberturas e os seus obstáculos já estarão definidos, havendo ainda a provável problemática de falta de espaço ao redor para se poder dispor de maiores áreas de instalação. Para além disso, já haverá toda uma cultura energética implementada e enraizada, pouco pensada e reflectida, no que á sustentabilidade das gerações vindouras diz respeito.

Posto isto, a secção que se segue, tem por objectivo analisar os factores supracitados e outros mais, apontando os problemas e introduzir possíveis formas de mitigar alguns deles, para que faça sentido o aproveitamento energético alternativo em contexto urbano.

2.3.2. Influência da morfologia urbana para a produção de energia

Na sequência do que foi anteriormente citado, quando se projecta a implementação de energias renováveis em contexto urbano, a questão ganha outra complexidade, pois entram em jogo factores externos que na maioria das vezes não poderão ser alterados e muito menos ignorados, então terão de ser ultrapassados. Esta secção pretende abordar alguns desses factores, passando primeiramente pela análise de como implementar as energias renováveis em contexto urbano.

2.3.2.1. Consumo energético nas cidades

Antes de mais, convém demonstrar o “*porquê*” da necessidade de romper com os excessivos consumos energéticos urbanos praticados nos dias de hoje.

É sabido que, nas últimas décadas, nos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento, em grande parte das sociedades, se vem verificando um fenómeno de urbanização acentuado, facto este que tem contribuído para um significativo aumento do consumo de energia no sector dos edifícios [25].

Algumas estimativas revelam que a um aumento de 1% da população urbana poderá corresponder um aumento no consumo de energia superior a 2% [26].

A estes factos juntam-se outros que apontam que as cidades consomem cerca de 2/3 da energia mundial e são responsáveis por 70% da emissão de gases com efeito de estufa, embora apenas representem 50% da população, perspectivando-se que em 2030 as cidades sejam responsáveis por 73% da procura energética global e também responsáveis por 80% de emissões globais de CO₂ especialmente devido ao sector dos transportes e da construção (necessidades de aquecimento e arrefecimento) [8]. No contexto urbano o sector da habitação representa um consumo energético 30,2% do total [27].

2.3.2.2. Estratégia energética urbana

Os dados apresentados no tópico anterior, rapidamente sugerem a necessidade de determinar estratégias em contexto urbano que contrariem as tendências de consumos energéticos que nas últimas décadas se vêm evidenciando. Então, uma vez apresentado o “*porquê*” da implementação de energias renováveis em contexto urbano, vejamos agora “*como*” alterar a situação actual.

Grande parte dos estudos efectuados para contrariar a realidade energética urbana actual é assente em três pilares principais [28]:

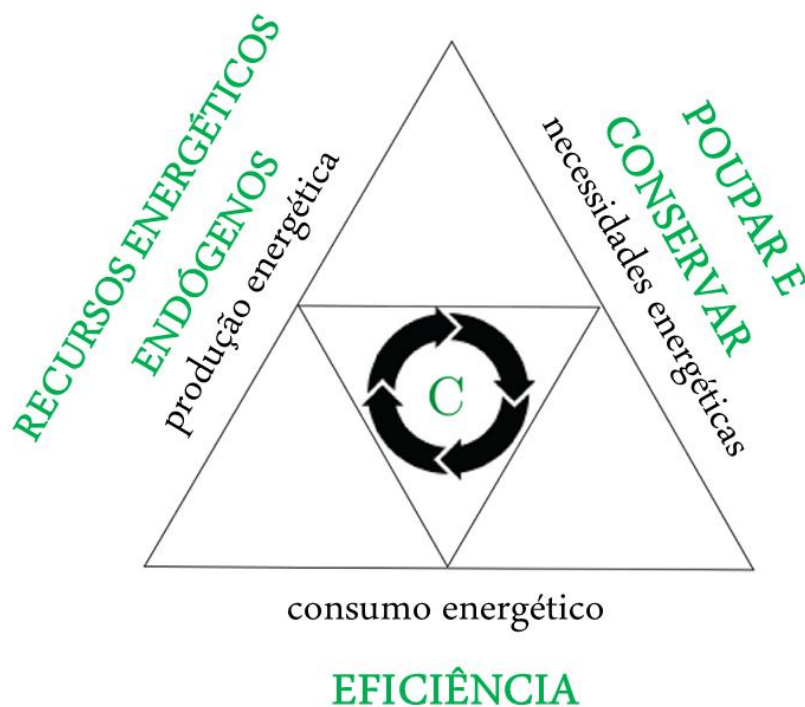


Fig. 2.31 - Os três pilares da energia sustentável nas cidades [29]

De acordo com Vettorato [29], cada um dos três pilares assenta em:

- *Poupança e Conservação de Energia*: consumir menos energia para atingir serviços urbanos menos dispendiosos, ou seja, diminuir as necessidades energéticas, reduzindo a quantidade de serviços urbanos que dependem de energia;
- *Eficiência Energética*: utilização de menos energia para garantir a mesma qualidade de serviços urbanos, ou seja, reduzir o consumo energético;
- *Energias Renováveis*: exploração dos recursos naturais endógenos para garantir as necessidades energéticas locais.

Vários autores defendem que estes três pilares podem ser estritamente ligados com a morfologia urbana.

De facto, a morfologia urbana induz modificações no sistema energético das cidades, que poderão afectar [29]:

- Os serviços urbanos dependentes de energia (mobilidade, necessidade de aquecimento e arrefecimento, etc.);
- A energia necessária para garantir esses serviços (infra-estruturas de transporte adequadas, tecnologias para aquecimento e arrefecimento adequadas);
- A energia importada para satisfazer as necessidades locais.

2.3.2.3. Importância do planeamento urbano para a produção de energia

Perante os factos anteriormente apresentados, a necessidade de voltar a “pensar a cidade” é um exercício indispensável para um eficaz aproveitamento energético em contexto urbano.

Não chega por si só a implementação directa de sistemas de produção de energia alternativa, esperando que assim façam toda a diferença. Para isso, deverá ser planeada e estruturada toda a forma urbana, visando minimizar as necessidades energéticas globais (urbanas) para assim otimizar a eficácia dos sistemas de produção de energia alternativa.

Ainda segundo Vettorato [29], quando se pretende introduzir o conceito de desenvolvimento sustentável nas cidades, é possível definir alguns objectivos que o planeamento e *design* urbano devem atingir:

- *Conservação Energética*
 - ✓ Controlo micro climático: o conforto térmico é um dos maiores consumidores de energia, da actividade humana nos seus edifícios [30].
 - ✓ Arquitectura solar passiva: conduzindo a menos necessidades de aquecimento e portanto menos gastos energéticos;
 - ✓ Proximidade: benefícios comprovados da proximidade das actividades urbanas, poupando energia e recursos.
- *Eficiência Energética*
 - ✓ Sistemas de transporte de baixo consumo energético: a utilização de viaturas privadas tem favorecido a descentralização das cidades. Levando assim a deslocar as maiores distâncias. Um eficiente sistema de transporte público necessita contudo de maior densidade urbana. De qualquer forma a bicicleta continua a ser o meio de transporte energeticamente mais eficiente, pelo que deveria ser mais promovido [31].
 - ✓ Densidade urbanística: para minimizar as transferências de calor a malha urbana deve ser tão densa quanto possível, tendendo o mais possível para um cubo. Sem esquecer que outros factores como a temperatura ao nível do solo, velocidade e direcção dos ventos predominantes, radiação solar, etc, influenciam também a transferência de calor dos edifícios [32].
- *Energias Renováveis*
 - ✓ Produção activa de energias renováveis. A produção de energia a partir de recursos renováveis nas cidades irá reduzir a uma grande escala a dependência urbana dos combustíveis fósseis [7].

A Figura 2.32 ilustra esquematicamente a forma como interagem todos os pressupostos que anteriormente foram apresentados, para uma melhoria energética em contexto urbano.

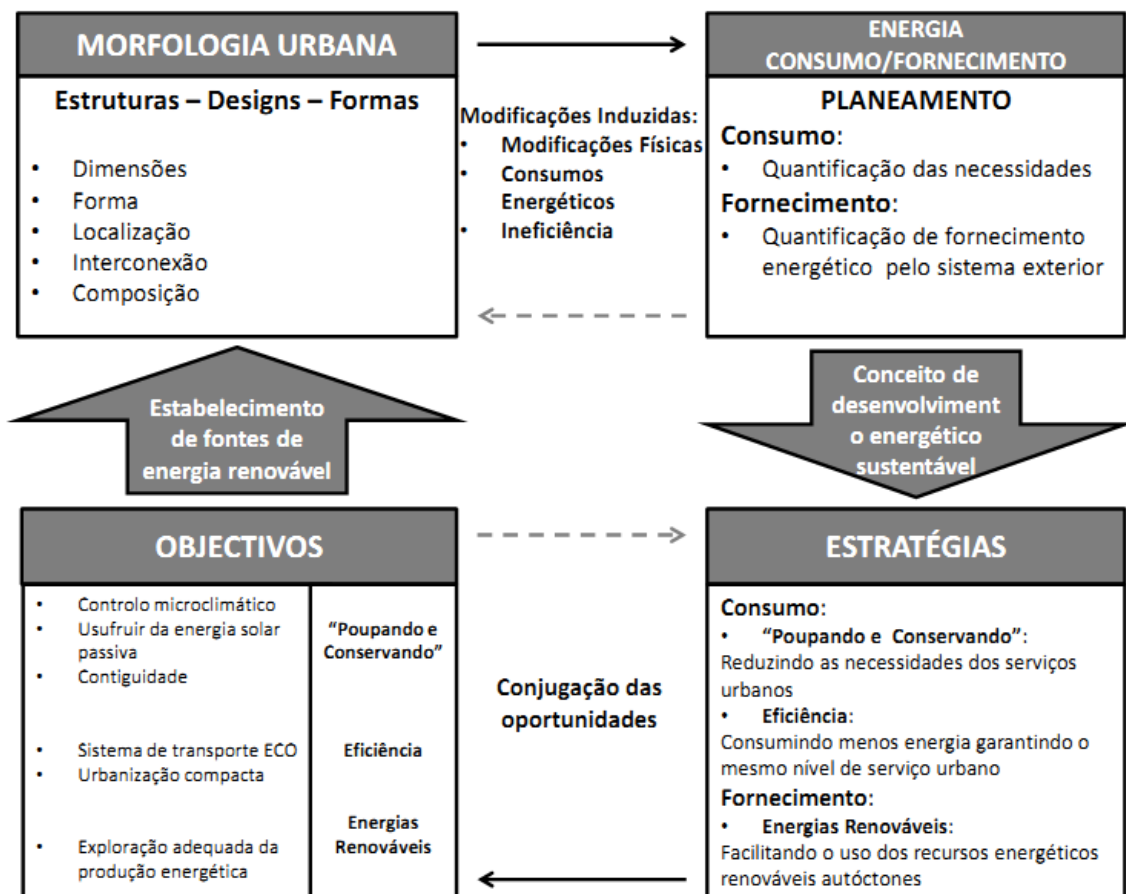


Fig. 2.32 - Relação entre a morfologia urbana e o desempenho energético urbano [29]

É então unânime que toda e qualquer estratégia de planeamento urbano que se queira sustentável, deve assentar em princípios estratégicos como [33]:

- Uso sustentável de recursos naturais
- Redução de consumos e desperdícios
- Preservação da diversidade natural, económica e cultural numa relação de equidade
- Promoção e dinamização da utilização de energias renováveis
- Envolvimento da população local no processo
- Promoção e divulgação e informação sobre o desenvolvimento previsto e verificado ao longo do processo

Para atingir estes pontos estratégicos, é importante ter em conta alguns factores condicionantes, como [34]:

- Geomorfologia;
- Radiação solar e orientação das encostas;
- Vento;
- Estrutura da rede viária;

- Espaços públicos;
- Morfologia da malha urbana;
- Dimensão e configuração dos lotes;
- Actividades económicas;
- Mobilidade;
- Equipamentos públicos e as ligações com a envolvente

Em suma, para que surta efeito a implementação de energias renováveis em contexto urbano, deve ser tido em conta todo o enquadramento urbanístico e ambiental em que elas se vão inserir, optimizando a cidade no que á temática energética diz respeito, podendo enfim criar um cenário energético ideal. Este processo deverá portanto seguir três linhas de orientação principais (Figura 2.33):

1. Avaliação do meio físico e ambiental
2. Avaliação do clima local
3. Planificação ambiental com os princípios do urbanismo bioclimático

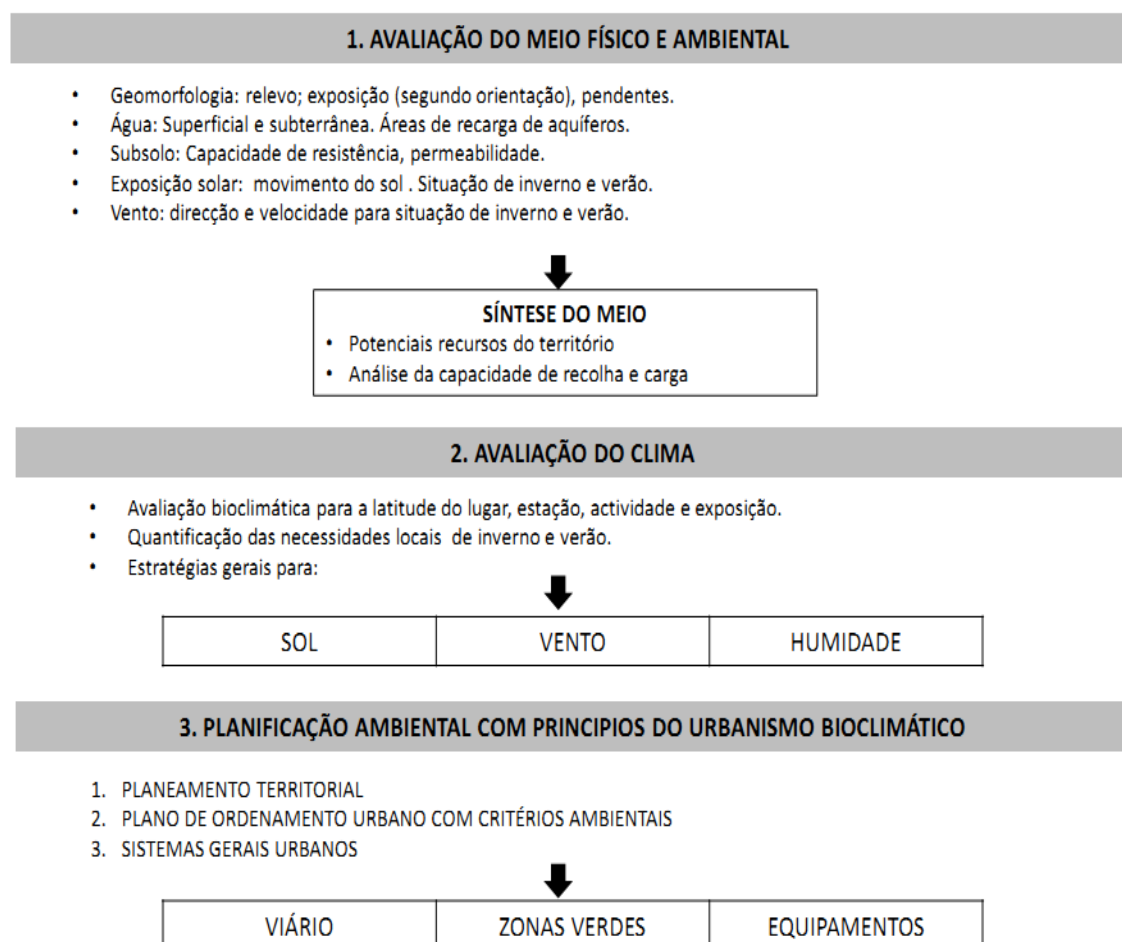


Fig. 2.33 - Metodologia para um urbanismo sustentável [34]

2.3.2.4. Factores externos que condicionam produção de energia em contexto urbano

Posto isto, serão neste tópico aprofundados os factores externos, quer naturais quer urbanísticos, que devem ser tidos em conta para a implementação de sistemas de produção de energia alternativa em contexto urbano.

Geomorfologia e Formas do Relevo

A geomorfologia apresenta-se como uma variável que merece uma abordagem prioritária na medida que dela dependerão a grande maioria dos restantes factores pois é o relevo que ditará qual a distribuição das infra-estruturas no território, influenciando também na situação climática do local, nos regimes de ventos, na pluviosidade e na exposição de radiação solar, sendo que a diferença entre uma orientação a norte ou a sul, num terreno cuja pendente seja de 10%, pode alterar em quatro vezes a radiação solar recebida, chegando inclusive a alcançar uma diferença de quase oito vezes se a pendente for de 20% [34].

Outro factor de grande importância dentro da variável Geomorfologia é a altitude. É do conhecimento empírico que uma maior altitude implica maior radiação solar, sabemos também que com a variação da altitude variam consequentemente os regimes de ventos e a nebulosidade.

Território e Radiação Solar

O eficaz aproveitamento da radiação solar, por parte dos sistemas de produção de energia solar, deve, em contexto urbano, ter em atenção os seguintes factores:

- Orientação das ruas **(1)**
- Largura das ruas **(2)**
- Altura das edificações **(2)**
- Tipologia das edificações **(3)**
- Pendentes de suporte **(3)**

(1) O movimento do sol condiciona (ou assim deveria de ser) o desenho urbano e o respectivo bem-estar. Manipulando a orientação viária, para uma sequente favorável orientação do edificado urbanístico.

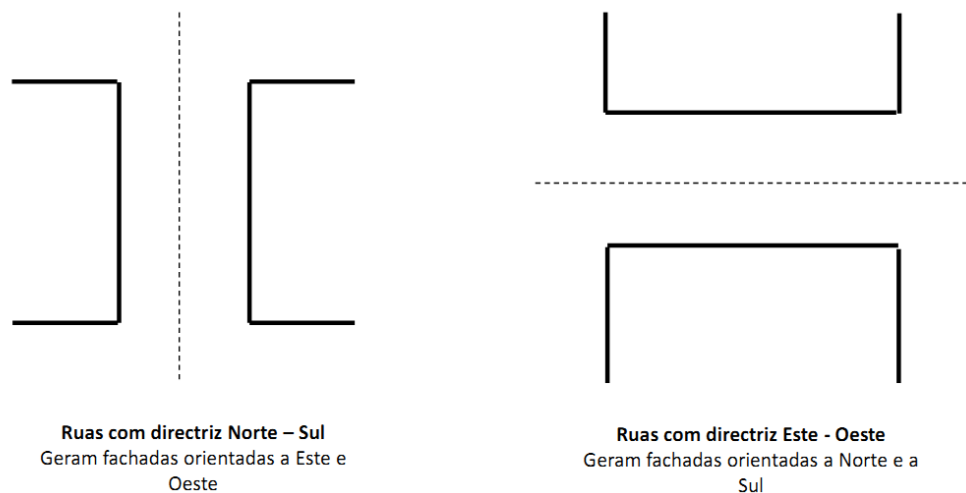


Fig. 2.34 - Orientação viária [34]

Analisando a Figura 2.34, verifica-se que:

- No primeiro caso ruas que geram fachadas orientadas a Este e Oeste, nas quais o sol incide respectivamente de manhã e de tarde. Esta solução permitirá que todas as fachadas disponham de horas de sol, mas nunca nas horas centrais do dia em que o sol transmite maior calor. No entanto também não geram fachadas orientadas somente a norte. Sendo portanto uma solução recomendável a latitudes superiores a 40° e sempre que os Verões não sejam excessivamente quentes, uma vez que o aquecimento sobre a fachada oeste poderá ser muito negativo para o conforto térmico do edifício [34].
- No que se refere ao segundo caso, surgem edifícios com uma fachada ótima de inverno (fachada sul), e outra ótima no verão (fachada norte). Nesta situação será imprescindível ter em consideração a relação entre a altura do edifício e a distância entre fachadas, uma vez que condicionará a entrada de sol (sobretudo no inverno quando a altura solar é menor) nos pisos mais inferiores [34].

(2) A densificação urbanística vai influir sobre um maior sombreamento dos edifícios, devendo então as sombras ser alvo de um estudo aprofundado, até mesmo para garantir um eficaz aproveitamento das energias renováveis. A contabilidade do sombreamento poderá ser feita da seguinte forma:

$$Ho = \arctg \frac{H}{d} \quad (2.3)$$

Onde, Ho representa o angulo de obstrução, H a altura do edifício causador de sombreamento, e d a distancia entre os edifícios [34].

A relação entre a distância e a altura das edificações é normalmente formalizada através do factor de visão do céu (FVC) o qual nos indica através de um ponto no centro da rua no espaço urbano, a quantidade de céu que pode ser observado e que portanto não se encontra obstruído por outros edifícios (Figura 2.35) [35].

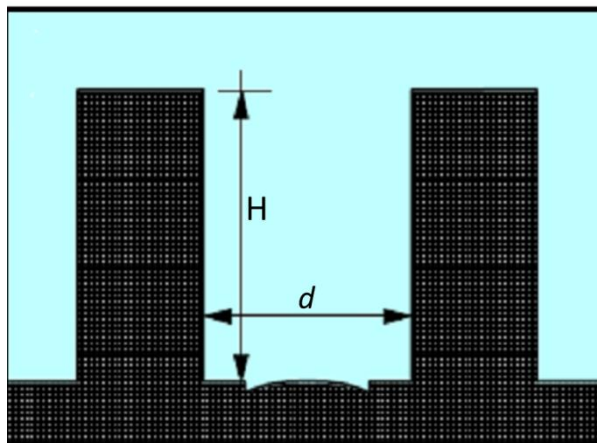


Fig. 2.35 - Variáveis do sombreamento em espaço urbano [35]

(3) Um outro factor de grande importância para a implementação dos sistemas de produção de energia em edifícios urbanos, está relacionado com a sua tipologia quer ao nível das fachadas quer ao nível das coberturas, tendo em conta todas as componentes da cobertura que poderão interferir com a captação de radiação por parte dos colectores. A Figura 2.36 apresenta um exemplo de uma cobertura de um edifício evidenciando os obstáculos que a compõem, os quais deverão ser tidos em conta para a área livre disponível.



Fig. 2.36 - Exemplo de área de cobertura para instalação de painéis solares tendo em consideração todos os obstáculos que a constituem [36]

No caso de coberturas inclinadas cujas águas não permitam a orientação óptima dos painéis deverão ser estudadas alternativas, as quais serão apresentadas mais á frente do Capítulo 3.

Cada caso é merecedor de uma atenção especial, uma vez que da tipologia arquitectónica do edifício irá depender a solução escolhida para a implementação de sistemas de produção de energia (Figura 2.37).



Fig. 2.37 - Diferentes formas de disposição do painel consoante a tipologia quer da fachada quer da cobertura do edifício [37]

Para resumir os factores enunciados anteriormente é apresentado o seguinte quadro:

Quadro 2.5 - Influência da radiação solar no planeamento urbano [34]

Factor	Condicionante de desenho	Influências na Planificação
Angulo máximo de obstrução solar no solstício de inverno, H_o	Orientação E	Altura das edificações e largura das ruas segundo as diferentes orientações. Usos do solo para que haja exposição solar E-O, $d = 2,5H$; N-S, $d=1,5H$
	Orientação S-E	
	Orientação S	
	Orientação S-O	
	Orientação O	
Orientações em planta	Inverno	Orientação óptima da rede viária e edificações
	Verão	
Sombreamento	Inverno: manhã e tarde	Condicionamento de usos
	Verão: manhã e tarde	
Radiação Difusa	Albedo ⁸ do solo	Condicionamento de usos
	Número de dias nublados	
Factores de localização que favorecem a radiação solar directa	Inclinação do terreno a 10%	Condiciona a localização das edificações e seu desenvolvimento
	Fundo de vale	
	Fraca exposição aos ventos	
	Latitude	

⁸ O albedo da superfície corresponde à razão entre as radiações de ondas curtas reflectidas e incidentes. O albedo varia em função do comprimento de onda conforme a reflexão do local e é também dependente das condições de iluminação [37].

3. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA A PRODUÇÃO INDIVIDUALIZADA DE ENERGIA

Tendo em vista o contexto da cidade de Beja (que será explorado no Capítulo 4), as soluções para a produção de energia que melhor rendimento poderão ter serão naturalmente as proporcionadas pelo Sol.

Pretende-se com este Capítulo fazer uma análise técnica para a produção de energia solar, seja ela fotovoltaica ou térmica. Relativamente a ambos os sistemas, explorar-se-á:

- As tecnologias inerentes
- A capacidade de produção
- Factores exteriores determinantes para o seu correcto funcionamento

3.1. Soluções consideradas

Energia Solar Fotovoltaica

Conforme já foi bem explícito anteriormente, a energia solar fotovoltaica é uma possibilidade de obter energia eléctrica de forma “limpa” através da radiação solar incidente sobre as placas constituídas por células solares. Trata-se então de uma tecnologia bastante promissora na medida em que respeita o meio ambiente, é de fácil instalação apresentando também uma manutenção reduzida e ainda um tempo de vida útil bastante considerável, podendo chegar aos trinta anos.

Digno de registo é também o facto de, por força do Decreto Lei nº 363/2007, qualquer pessoa singular ou colectiva poder vender à rede de distribuição eléctrica nacional a sua produção, traduzindo-se isso em óbvias vantagens para efeito de retorno de investimento. Este aspecto será de resto aprofundado no Capítulo 4.

Energia Solar Térmica

Usufruindo ainda dessa fonte inesgotável de energia (Sol), é possível também o seu aproveitamento para efeitos térmicos, nomeadamente água quente sanitária (AQS), aquecimento por convecção, aquecimento por radiação e aquecimento para piscinas.

Das formas de obter energia através do Sol, esta é a que apresenta um maior rendimento superando os 90%, ao passo que, por exemplo, os painéis fotovoltaicos apresentam uma eficiência que pode situar-se entre os 16% e 18%.

Outro factor de grande relevância para a proliferação desta forma de obtenção de energia, diz respeito ao disposto no RCCTE, que obriga à instalação solar em qualquer nova construção ou remodelações de valor superior a 25% do imóvel, sempre que haja exposição solar, na cobertura do edifício, no quadrante SE-SW (sudeste – sudoeste) sem sombreamentos desde 2 horas depois do nascer do sol até 2 horas antes do pôr do sol.

3.2. Tecnologia e requisitos associados às soluções consideradas

3.2.1. Tecnologia inerente à produção de energia solar fotovoltaica

As instalações básicas para a produção de energia solar fotovoltaica são compostas na sua essência por quatro componentes fundamentais:

- Módulo Fotovoltaico
- Regulador de Carga
- Bateria
- Inversor

Quadro 3.1 - Componentes fundamentais para instalações solares fotovoltaicas

Componente	Função
Modulo Fotovoltaico	Componente responsável pela transformação de energia luminosa proveniente do Sol em energia eléctrica de corrente contínua ⁹
Regulador de Carga	O regulador de carga faz a ligação entre o painel fotovoltaico e a bateria, regulando a carga de forma a que o máximo de energia eléctrica produzida pelo módulo fotovoltaico, seja armazenado na bateria. Evita ainda que a bateria seja sobrecarregada quando a sua carga atinge um valor máximo.
Bateria	Equipamento que possibilita que o excesso de energia produzida pelo módulo fotovoltaico seja acumulada.
Inversor	Este é o equipamento responsável pela conversão da corrente continua gerada pelo módulo fotovoltaico em corrente alternada ¹⁰ para alimentar os electrodomésticos ou ainda para uma eventual ligação da rede produzida à rede pública.

Os módulos fotovoltaicos comerciais são identificados por três características básicas:

- Tipos de células
- Tensão

⁹ [CC] Corrente que circula num só sentido, ou de pólo positivo para pólo negativo se considerarmos o sentido convencional da corrente. Pode encontrar-se este tipo de corrente em pilhas ou baterias entre outros [38].

¹⁰ [CA] Corrente que alterna constantemente de sentido. Nesta corrente não existem pólos, mas sim fases, pois os condutores variam continuamente de polaridade. Pode encontrar-se este tipo de corrente nas habitações comuns [38].

- Potência

Relativamente às células fotovoltaicas, estas podem ser de três tipos:

Quadro 3.2 - Tipos e características de células fotovoltaicas

Tipos de Células	Características	
Monocristalinas	Correspondem à tecnologia que consegue o máximo rendimento energético (13-18%). As suas células distinguem-se por apresentar uma cor uniforme, azul escuro ou preto [39].	“Estes dois tipos de células apresentam-se encapsulados em estruturas metálicas e, por este motivo, fisicamente rígidos. Correspondem aos painéis ou módulos que se instalam em telhados, terraços, e outros” [39].
Policristalinas	Células com rendimento ligeiramente inferior (11-14%) e de menor custo. Apresentam uma variedade de cores [39].	
Amorfas	“Módulos cujas células são formadas por películas finas sobre um suporte de papel ou plástico, conferindo-lhes flexibilidade. O seu rendimento é mais reduzido que o das anteriores (> 10%)” [39].	

No que toca à **tensão** eléctrica que proporciona o módulo fotovoltaico, são usuais os valores de 12 V em módulos de 50 W ou menos e 24 V para os de potência superior, sendo que para as habitações é comum a utilização destes últimos.

Quanto à **potência** em watt (W) que pode proporcionar o módulo fotovoltaico face à luz solar, “deve-se saber se este dado ocorre com irradiação a 1000W/m^2 ou antes a 800W/m^2 . O primeiro correspondente ao ponto óptimo, quando o Sol está no seu zénite¹¹ e o segundo a um desvio próximo da média das horas de sol. Por razões óbvias é preferível ter o valor da potência para a segunda situação” [39].

Para que se consiga a tensão e a potência necessárias os módulos poderão associar-se entre si das seguintes formas:

- Associação em série

Esta associação é realizada quando é necessário somar as suas tensões, por exemplo para obter 24 V com dois módulos de 12 V. A condicionante a esta aplicação é que os módulos a aplicar sejam da mesma potência.

¹¹ Ponto da esfera celeste na vertical do observador. Momento em que o Sol incide verticalmente sobre um lugar. O seu ângulo é medido entre os raios solares e a direcção vertical [24].

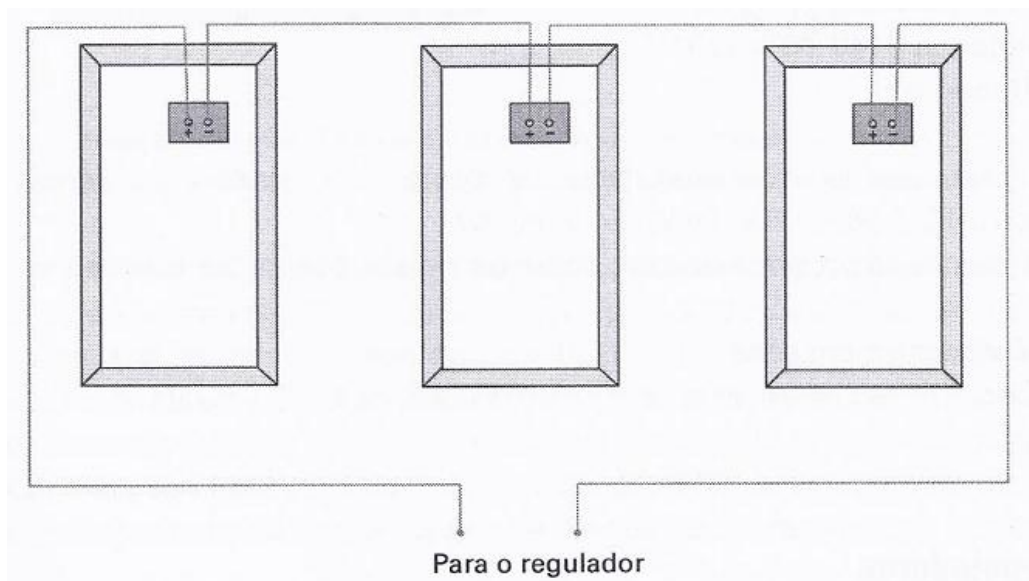


Fig. 3.1 - Módulos fotovoltaicos conectados em série para somar a sua tensão [39]

- Associação em paralelo

Este tipo de associação é utilizado quando por sua vez se pretendem somar as suas potências, por exemplo para obter 100 W com dois painéis de 50 W cada. Para esta aplicação a condicionante é que os módulos a aplicar sejam da mesma tensão.

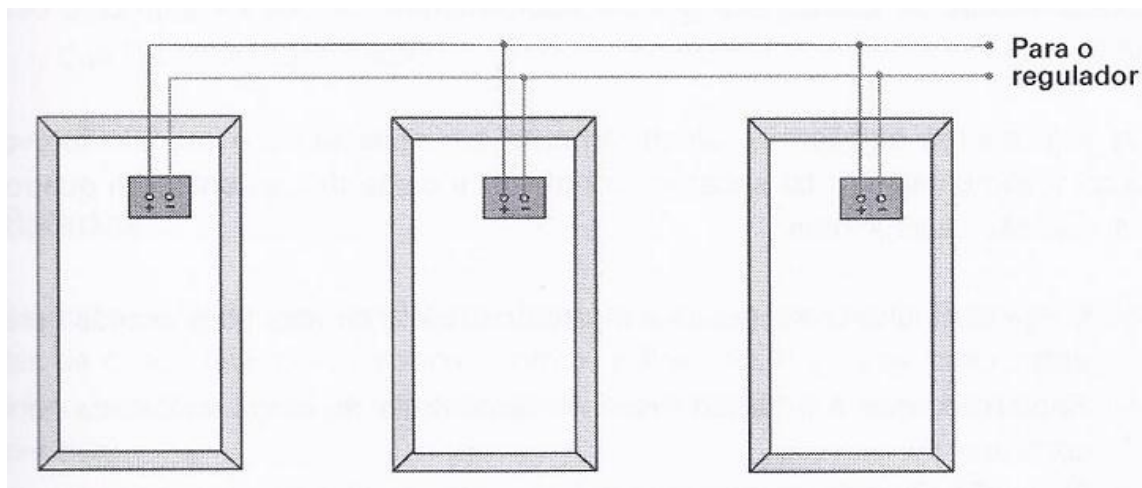


Fig. 3.2 - Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo para somar a sua corrente [39]

3.2.2. Requisitos associados à produção de energia solar fotovoltaica

Tal como já foi referido anteriormente os módulos solares possibilitam o acesso a energia em variadíssimas situações como em lugares remotos, caravanas, habitações permanentes entre muitos outros.

Contudo uma questão pertinente é constantemente levantada quando se pretende uma instalação de produção de energia fotovoltaica: *“Possuem actualmente os módulos solares condições tecnológicas adequadas para fornecer toda a energia eléctrica para as diferentes situações citadas?”*.

A resposta a esta questão será dada com maior precisão com o desenvolvimento deste trabalho, no entanto por enquanto importa frisar alguns pontos relevantes que estão em comunhão com a tecnologia em estudo e dos quais devemos ter bem noção.

Primeiro, nas habitações existem variadíssimos dispositivos consumidores de energia: dispositivos de baixo consumo, como equipamentos de imagem e som, auxiliares de cozinha como batedeira, moinho de café entre muitos outros, cuja alimentação pode perfeitamente ser assumida com facilidade por pequenas e económicas instalações solares. Por outro lado, existem também ao dispor dos consumidores equipamentos de grande consumo energético, como: ferro eléctrico, máquina de lavar roupa, máquina de lavar louça, torradeira, frigorífico, etc, que exigiriam grandes e dispendiosas instalações solares fotovoltaicas, economicamente difíceis de justificar. Para solucionar esta situação a forma mais razoável é a alimentação com energia alternativa, de forma a que a solar se encarregue de uma parte e a restante com energia convencional.

Para que se possa partir para o dimensionamento das instalações solares, é necessário o conhecimento (como já foi referido) de dois factores imperativos para o bom funcionamento do equipamento:

- Radiação Solar incidente sobre a superfície terrestre
- Número de horas diárias de sol

Estes factores climático-geográficos embora já tenham sido anteriormente tratados deverão ser relembrados tendo agora em vista a sua importância no dimensionamento dos módulos.

A necessidade de quantificar a energia solar sobre a superfície da Terra “para se poder estabelecer as dimensões das instalações solares deu lugar à constante solar, com a qual se indica a energia que incide fora da nossa atmosfera e cujo valor é de aproximadamente mil trezentos e cinquenta watts por metro quadrado.

Dessa quantidade chega à superfície terrestres (sobre a qual se dispõem os captadores fotovoltaicos) mil watts por metro quadrado (1 KW/m^2) sob a forma de radiação perpendicular ao plano de terra. Tal quantidade equivale em termos energéticos, a quase um barril de petróleo” [39].

Relativamente ao número de horas diárias de sol, este proporciona a referida quantidade de energia apenas durante um período do dia chamado “horas de pico de sol”, cujo valor depende da zona geográfica e da estação do ano. Por exemplo, segundo Tomás Perales Benito [39], o Sul de Portugal apresenta uma média anual de 6 horas e o Norte uma média de 4 horas.

De referir que durante as restantes horas como é óbvio não deixará de haver aproveitamento energético, no entanto este será de menor valor.

3.2.3. Tecnologia inerente à produção de energia solar térmica

Relativamente à tecnologia associada à produção de energia solar térmica, podem referir-se como principais integrantes das suas instalações os seguintes componentes:

- Collectores solares térmicos
- Fluido de transferência térmica
- Estruturas de suporte
- Permutador de calor
- Grupo hidráulico
- Acumulador
- Sistema de apoio
- Central de controlo
- Canalização e acessórios

O quadro que se segue pretende descrever para cada um dos integrantes acima apresentados, a respectiva função. (Quadro 3.3)

Quadro 3.3 - Componentes e respectivas funções dos sistemas solares térmicos

Componente	Função
Colector solar térmico	Esta é a componente que é exposta à radiação solar, com o objectivo de a transformar em energia térmica, conseguida pelo aumento da temperatura doo fluido que circula no seu interior.
Fluido de transferência térmica	Mistura de água, anticongelante e outros produtos que limitam a deterioração no interior das tubagens. É responsável pela transferência de energia captada do Sol.
Estruturas de suporte	Estruturas metálicas sobre as quais se fixam os painéis solares, garantindo a sua estabilidade face a agentes meteorológicos perturbadores.
Permutador de calor	Acessório que permite a transferência do calor do fluido térmico ao circuito do acumulador de água quente para consumo, uma vez que o fluido térmico não pode ser utilizado para consumo.
Grupo hidráulico	Conjunto de acessórios que facilitam a movimentação dos fluidos térmicos entre os painéis solares e os permutadores de calor. Constituintes: bomba de circulação, vaso de expansão ¹² , válvulas e outros acessórios.

¹² Os vasos de expansão são dispositivos destinados a compensar o aumento do volume da água provocado pela subida da temperatura da mesma, quer nas instalações de aquecimento, quer nas de produção de água quente sanitária [40].

Acumulador	Recipiente metálico que permite acumular a água aquecida, possibilitando a sua utilização noutros momentos. Existe ainda um conjunto de acessórios eléctricos que permitem o controlo da temperatura da água.
Sistema de apoio	Sempre que a produção de energia térmica não for suficiente para satisfazer as necessidades, então deverá ser accionado um sistema de apoio energético. Para este tipo de sistemas é concional usar-se uma resistência eléctrica ou um sistema a gás.
Central de controlo	Este sistema de controlo está associado aos dois últimos componentes apresentados anteriormente (manter a temperatura da água no acumulador, accionar o sistema de apoio). Regulador electrónico que recebe as informações da temperatura da água.
Canalização e acessórios	Tubagens, isolamento térmico, sondas de temperaturas, válvulas, misturadoras, purgadores.

Relativamente aos colectores solares térmicos, há que distinguir entre 3 tipos:

- Colectores planos com cobertura;
- Colector de tubos de vácuo, com a superfície absorsora baseada em tubos de cobre;
- Colectores planos sem cobertura ou flexíveis.

Quadro 3.4 - Tipologia dos colectores e respectivas características

Tipologia do colector	Características
Plano com cobertura	<p>É o painel mais utilizado. O seu funcionamento tem por base o princípio do corpo negro, que absorve a energia solar incidente. No seu interior circula o fluido térmico, que será posteriormente transferido para o acumulador. A sua constituição é composta por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cobertura: superfície de vidro temperado que reduz as perdas térmicas e provoca também um efeito de estufa no seu interior. Confere ainda uma função protectora das restantes componentes no seu interior. • Absorisor: Acessório responsável pela captação da radiação solar e respectiva transferência para o fluido térmico. “Este importante acessório é composto por uma placa e por uma serpentina ou similar de cobre por onde circula o fluido” [41]. • Isolamento: Isolamento térmico que envolve o o fundo e as laterais do painel com o objectivo de minimizar as perdas térmicas por condução. • Ligações Hidráulicas: Ligadores destinados à entrada

	do fluido frio e à saída do fluido aquecido.
Tubos de vácuo	<p>Painel constituído por um “conjunto de tubos de vidro em vácuo, com boa capacidade para a entrada de radiação solar e suficiente rigidez para suportar as condições atmosféricas mais adversas” [41].</p> <p>O interior destes tubos é também ele constituído por um elemento absorvedor, onde circula o fluido térmico a aquecer. Por acção da radiação solar, o fluido circulante muda de estado (vaporizando), dada a sua temperatura o vapor sobe pelo tubo e transfere o calor a um fluido ao condensar na parte superior. Após a transferência térmica o fluido arrefece, iniciando assim novo ciclo. (Figura 3.3)</p> <p>O conjunto de tubos encontra-se superiormente ligado a um sistema de distribuição térmica.</p>
Plano sem cobertura ou flexível	<p>Este é aconselhável para situações em que as necessidades de aquecimento não sejam tão elevadas, como por exemplo o aquecimento das piscinas. O seu princípio de funcionamento é semelhante aos colectores planos, existindo também uma rede de canais nos quais circula o fluido térmico.</p> <p>Os materiais que o constituem são materiais flexíveis, normalmente polímeros termoplásticos, leves e com grande flexibilidade. São de fácil (des)montagem.</p>

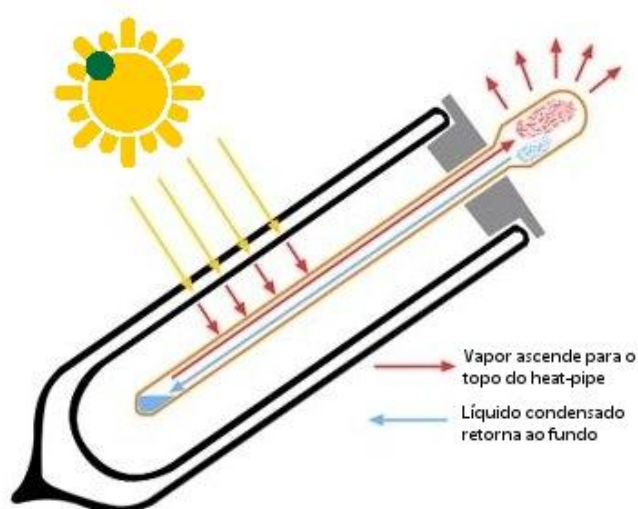


Fig. 3.3 - Pormenorização do funcionamento do tubo de vácuo [42]

À imagem dos painéis solares fotovoltaicos, também os painéis solares térmicos podem ser interligados em paralelo ou em série.

- Colectores em paralelo

Neste tipo de execução, são ligados em série entradas com entradas e saídas com saídas (Figura 3.4), permitindo aumentar o caudal, uma vez que o seu total irá corresponder à soma dos caudais unitário de cada painel.

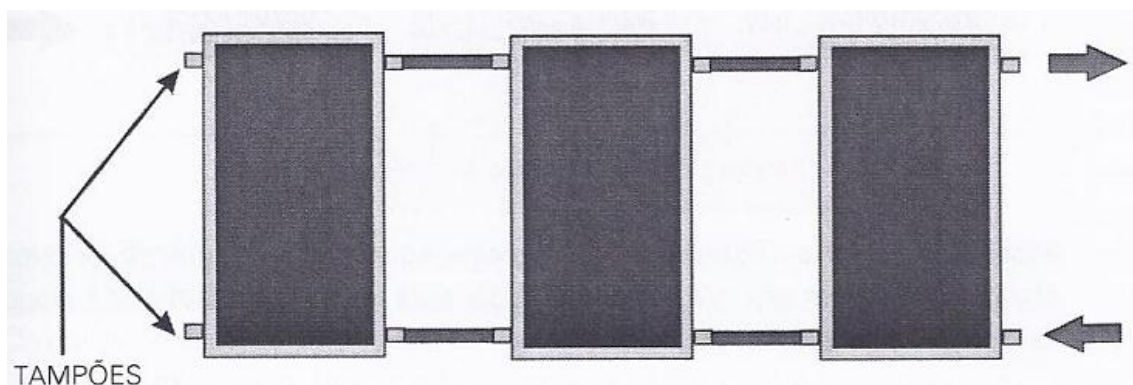


Fig. 3.4 – Esquema de montagem dos colectores em paralelo [41]

- Colectores ligados em série

Com este tipo de ligação, será conseguido um aumento da temperatura do fluido térmico. Cada painel irá proporcionar um aumento de temperatura ao fluido, pelo que a temperatura final será dada pelo somatório dos contributos parciais de cada painel. Neste tipo de solução o caudal mantém-se sempre constante, variando apenas o saldo térmico, o que leva a uma ligeira redução do rendimento.

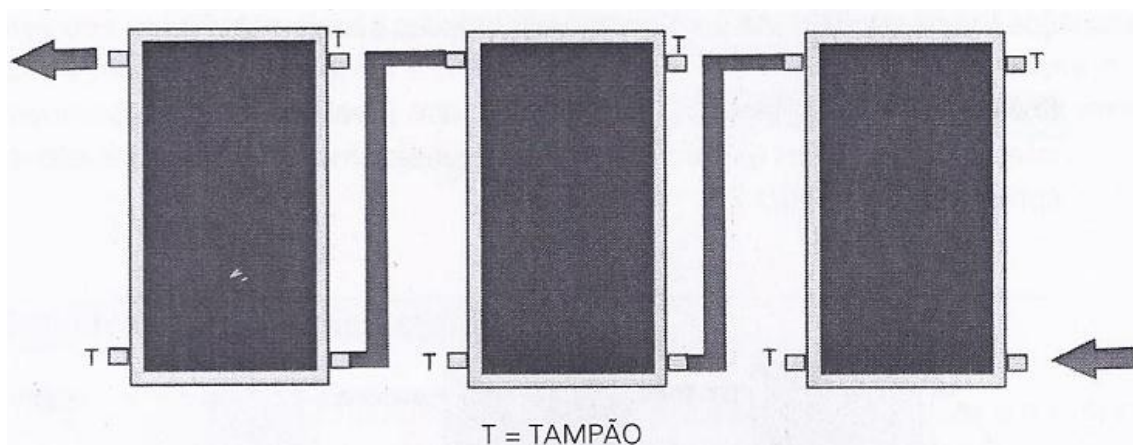


Fig. 3.5 - Esquema de montagem dos colectores em série [41]

- Colectores ligados de forma mista

É ainda possível conciliar ambas as montagens supracitadas, para que se consiga garantir um aumento de caudal e de também de temperatura. Este tipo de execução é mais aplicável para grandes instalações.

Há ainda a descrever relativamente às instalações solares térmicas, duas configurações distintas:

- Sistema termossifão
- Sistema de circulação forçada

Quadro 3.5 - Tipologia das instalações solares térmicas e sua caracterização

Tipologia da instalação	Caracterização
Sistema termossifão	O seu funcionamento tem por base um aproveitamento meramente físico sem necessidade de meios mecânicos em seu auxílio. Ou seja, o fluido térmico movimenta-se espontaneamente por convecção natural, entre os painéis e o acumulador, devida ao diferencial de densidade entre a água fria e a água quente (figura 3.6). Um dos seus maiores inconvenientes diz respeito à necessidade de desnivelar o acumulador em relação aos painéis, o que por vezes leva a que sejam instalados acumuladores pesados em locais que para esse efeito não estariam preparados. Contudo esta tipologia é usada com sucesso em habitações cujo consumo de água quente sanitária seja reduzido
Circulação forçada	Nesta configuração o acumulador é instalado separadamente do painel, ao contrário do que acontecia anteriormente. O acumulador é então disposto verticalmente o que permite um melhor controlo dos níveis de temperatura o que possibilita um melhor aproveitamento da energia solar. Consegue-se também que o sistema de apoio seja menos solicitado (poupando-se assim mais energia), as perdas térmicas pelo acumulador serão muito menores pois este poderá ser colocado num local protegido (Figura 3.7). O accionamento da bomba acontece devido ao diferencial de temperatura entre os painéis e o acumulador. Ou seja, a bomba arranca para uma determinada diferença de temperatura e para quando essa diferença de temperatura já não é tão significativa, normalmente, 7°C e 2°C respectivamente.

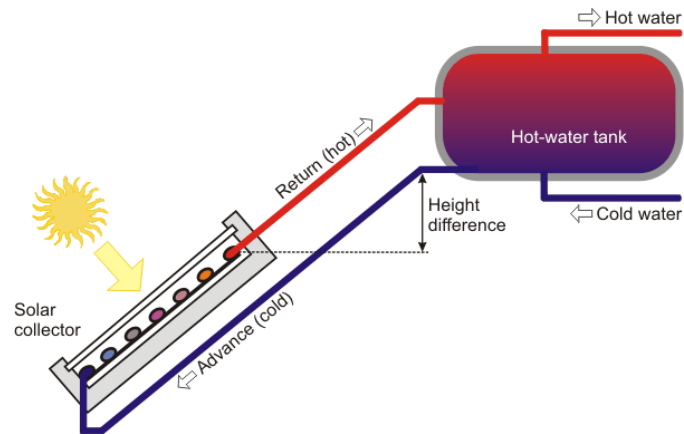


Fig. 3.6 - Funcionamento da tipologia baseada no sistema termossifão [43]

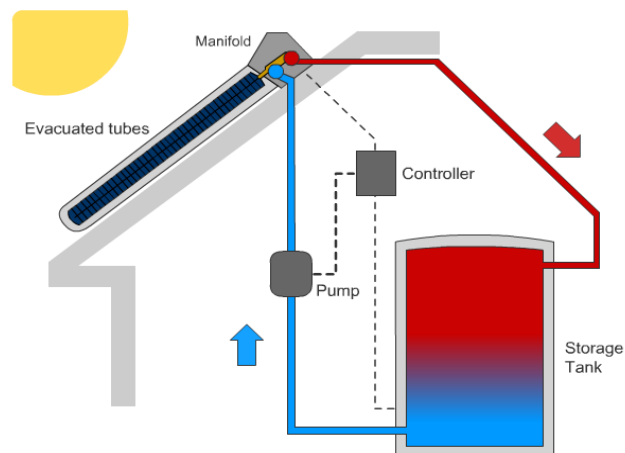


Fig. 3.7 - Funcionamento da tipologia baseada na circulação forçada [43]

Relativamente ao processo de transferência térmica, que como já foi referido acontece através do fluido térmico, por vezes esse fluido pode ser a própria água de consumo. Há então que distinguir entre dois processos de transferência térmica:

- Transferência directa
- Transferência indirecta

Quadro 3.6 – Processos de transferência térmica nas instalações solares térmicas e respectiva caracterização

Processo de transferência térmica	Caracterização
Transferência directa	O líquido que percorre os painéis corresponde à própria água de consumo, ocorrendo por esse motivo uma circulação directa entre os painéis e o acumulador sem que haja agente mediador. Este processo implica que não seja necessário um permutador de calor, no entanto o líquido circulante não pode conter qualquer agente químico quer antioxidante com anticongelante.
Transferência indirecta	Este processo corresponde ao que já foi analisado, onde é necessário o permutador de calor, e em que o fluido térmico poderá conter agentes que contribuam quer para a longevidade da instalação quer para o seu rendimento.

3.2.4. Requisitos associados à produção de energia solar térmica

Para além dos requisitos geográficos já mencionados, aquando da abordagem da tecnologia associada á produção de energia solar fotovoltaica, que naturalmente coincidem com a produção de energia solar térmica pois ambas têm por base o mesmo principio activo – Sol, há que acrescentar um conceito de grande importância para o dimensionamento dos painéis solares térmicos – *fracção solar*.

A fracção solar, consiste no quociente entre a energia captada pelo solar térmico e as necessidades energéticas do consumidor [41].

$$F_s = \frac{E_{\text{útil}}}{L} \times 100 \quad (3.1)$$

Sendo:

F_s – Fracção solar (%)

E_{útil} – Energia transferida ao sistema

L – Energia total consumida (procura energética)

Quando se pretende que o sistema solar térmico seja auto-suficiente tanto em condições de Inverno como de Verão, dadas as diferenças de irradiação solar diária entre cada estação, poderá chegar-se a soluções de dimensionamento no Inverno três a quatro vezes superiores às de Verão, o que poderá ser excessivo de manter durante todo o ano.

A fracção solar permite então um dimensionamento mais coerente, com recurso a um sistema de apoio energético alimentado com electricidade ou com gás, que seja accionado somente quando o solar térmico não possa satisfazer a procura dos consumidores.

“Uma fracção solar que satisfaça na generalidade os critérios de consumo ecológico sem recurso a uma instalação sobredimensionada para a maior parte do ano apresenta uma relação 0.3-0.85, que corresponde a satisfazer em 30% as necessidades durante o Inverno e 85% durante o verão. O restante é fornecido através do sistema de apoio convencional” [41].

3.3. Potencial de cada solução

3.3.1. Determinação do potencial da energia solar fotovoltaica

Na sequência do que foi dito anteriormente, vejamos agora na prática como influenciam as variáveis geográfica e climáticas para a produção de energia por meio dos painéis solares fotovoltaicos.

Conhecendo a quantidade de energia solar captada por dia numa dada região [Wh/dia/m²], o rendimento [%] do painel e área de captação dos painéis, será então possível determinar a energia eléctrica que irá ser gerada no módulo fotovoltaico [39]:

$$P_{cap} = E_G \times \eta \times A \quad (3.2)$$

P_{cap} - Energia captada [Wh]

E_G - Radiação solar incidente [Wh/dia/m²]

η - Rendimento do painel [%]

A - Área de painéis instalados [m²]

Nesta expressão dever-se-á ainda ter em conta um rácio de performance (PR), que deverá contemplar as perdas de energia que ocorrem ao longo do sistema. O valor habitualmente considerado para estas perdas é de 25%, pelo que PR= 0,75 [44].

No entanto, caso não tenhamos acesso ao rendimento dos painéis, uma vez que no mercado dos módulos são definidos pela sua tensão e potência eléctricas, então a determinação da energia captada faz-se da seguinte forma [39]:

$$P_{cap} = P_{hps} \times P_{fv} \times A \quad (3.3)$$

P_{hps} – Potência recebida em W/dia

P_{fv} – Potência em W do módulo considerado

Com estas expressões poderemos responder a algumas questões como:

- *Que quantidade de energia será captada por dia em local X num mês Y com um módulo fotovoltaico com uma potência de Z Watts?*

- *Que potência deve ter o módulo fotovoltaico necessário para proporcionar uma potência de X Watts por dia durante o mês Y no local Z?*

O dimensionamento do sistema de produção eléctrica através da energia solar fotovoltaica não se rege contudo ao dimensionamento dos módulos fotovoltaicos com respectivas potência e tensão eléctricas. É necessário também o dimensionamento da bateria. Este elemento, como já foi visto, permite a acumulação a energia eléctrica produzida pelos módulos. É então necessário que estes tenham a capacidade (Ah – amperes-hora) necessária para a finalidade prevista.

A capacidade de uma bateria deve então ser determinada pela expressão [39]:

$$Cp [Ah] = \frac{P_{cap} [Wh]}{\text{Voltagem da bateria}[V]} \quad (3.4)$$

P_{cap} - Energia captada [Wh]

Cp - Capacidade da bateria [Ah]

Todavia, há que ter em conta a necessidade casual de acumulação de energia durante uns dias para ser posteriormente consumida noutros. Para esta situação a capacidade da bateria (Cp) terá de ser multiplicada pelo número de dias de carga de consumo.

Outras duas condicionantes de relevância para o dimensionamento das baterias dizem respeito a:

- Profundidade de descarga
- Dias de autonomia

Relativamente á profundidade de descarga, como é sabido, deve evitar-se ao máximo que as baterias descarreguem na sua totalidade, sob pena de causar sérios danos na mesma. A profundidade de descarga é então a percentagem de carga retirada a uma bateria numa eventual descarga. Segundo o autor Tomás Perales Benito [39], caso se desconheça o seu valor, poder-se-á adoptar o valor típico de 0,7 (70%), o que implica que se dimensiona a capacidade total da bateria para descarregar durante o consumo até 70%.

Por sua vez, os dias de autonomia a ter em consideração no dimensionamento das baterias, dizem respeito aos dias durante os quais se pode usufruir do seu fornecimento de energia independentemente da captação.

Perante as condições supracitadas, a determinação da capacidade da bateria deverá respeitar a seguinte expressão:

$$Cp = \frac{W_d \times F}{U_n \times P_d} \quad (3.5)$$

Sendo:

W_d - Consumo diário [Wh/d]

F - Dias de autonomia [d]

U_d - Tensão da bateria [V]

P_d - Profundidade de descarga [%]

3.3.2. Determinação do potencial da energia solar térmica

Para o dimensionamento do sistema solar térmico haverá que ter em conta: as condições reais locais, fracção solar adequada para determinada aplicação, temperatura da água da rede pública e ainda a irradiação solar local para as diferentes estações do ano.

Inicialmente é necessário saber qual a energia necessária para elevar a temperatura da água da rede á temperatura requerida. Para elevar 1 grau à temperatura de um grama de água é necessária uma caloria, sendo a sua relação com a potência de $1 \text{ W} = 0,24 \text{ calorias/segundo}$, então para elevar a temperatura de M litros de água é o seguinte [41]:

$$Q_{(KWh)} = M \times \rho \times C_p (T_{aqs} - T_{fria}) \quad (3.6)$$

Sendo:

Q – Energia procurada

M – Consumo total de água quente em litros/dia

P – Densidade da água¹³ em Kg/l, que corresponde a 1Kg/litro

C_p – Calor específico da água em KWh/Kg.K ($1,16 \times 10^{-3} \text{ KWh}$)

T_{aqs} – Temperatura da água quente de serviço em °C

T_{fria} – Temperatura da água fria da rede em °C

Para finalmente se determinar a área de painéis a instalar, poder-se-á recorrer á expressão [41]:

$$Si = \frac{Fs_{min} \times Q}{\eta \times Q_{\text{útil}}} \quad (3.7)$$

Sendo:

Fs_{min} – fracção solar (Inverno 0,35 e Verão 0,85)

Q – Energia procurada

η – Rendimento da instalação, dever-se-á ter aqui em conta as perdas pelos equipamentos

$Q_{\text{útil}}$ – Energia solar média diária, para a situação de Verão e para Inverno

Este cálculo deverá ser feito para ambas as estações Verão Inverno, procurando assim saber de a fracção solar utilizada é razoável.

¹³ Este valor pode variar mediante a percentagem de anticongelante outras substâncias presentes no fluido térmico. Essas informações são normalmente dadas pelos fornecedores.

3.4. Factores determinantes para a eficiência dos sistemas de produção de energia

Perante as expressões apresentadas anteriormente facilmente nos apercebemos da influência que tem a localização geográfica para a quantificação de energia produzida pelos módulos solares. Em todas as formas usadas para o seu dimensionamento é factor decisivo a radiação solar incidente em determinado local. Apresenta-se no Anexo I a tabela que demonstra a distribuição da radiação solar por diversas cidades de Portugal Continental e para regiões autónomas da Madeira e dos Açores.

Todavia, quando se fala da influência do posicionamento geográfico para a produção de energia não se pode de forma alguma restringir apenas à influência da radiação solar incidente em determinado local. Muitas outras variáveis têm uma importância vital para o correcto rendimento do painel solar.

Seguidamente serão abordadas formas de prever e contornar o possível efeito adverso causado pelas seguintes variáveis:

- Orientação e inclinação do painel solar
- Sombreamento
- Orientação da rede viária e consequentemente da malha urbana

Todas estas variáveis, devem ser abordadas em conjunto pois todas se relacionam directamente. Tal como referido no Capítulo 2, o desenho urbano pode e deve representar um papel importante na eficiente captação de radiação solar, quer para ganhos passivos ou activos, sendo que a optimização dos primeiros irão diminuir a necessidade dos segundos.

Para tal há que ter sempre em conta que a favorável orientação dos módulos acontece para sul. Relativamente às inclinações mais favoráveis dos painéis fotovoltaicos existem variados estudos, os quais nos fornecem valores segundo duas categorias:

- Ângulo de inclinação determinado segundo a latitude

Diz respeito a um método directo e aproximado para determinar a inclinação (ϕ) baseado na latitude do lugar. Por este método existem várias hipóteses segundo vários autores, sendo que nenhum valor definitivo nos é dado [23]. O Quadro 3.7 mostra-nos algumas propostas de acordo com vários autores.

- Determinação do ângulo de inclinação maximizando a radiação solar

Outra aproximação possível para escolher o ângulo de inclinação será maximizando a quantidade de radiação global absorvida pela superfície do módulo fotovoltaico. Tal como referido anteriormente a radiação global é composta por três componentes: directa, difusa e reflectida. Existem

várias propostas para maximizar a quantidade de energia global ou a sua componente directa, recebida pelo painel solar, como se pode observar no Quadro 3.8 [23].

Quadro 3.7 - Ângulos para inclinação dos módulos solares segundo vários autores [23]

Autores	Métodos	Nota
Duffie & Beckmann [45] Heywood [46] Lunde [47] Chinnery [48] Lof and Tybout [49] Garg [50]	$(\phi+15^\circ)\pm 15^\circ$ $\phi-10^\circ$ $\phi\pm 15^\circ$ $\phi+10^\circ$ $\phi+(10^\circ\rightarrow 30^\circ)$ $\phi+15^\circ$ $\phi-15^\circ$ 0.9ϕ	Os sinais menos (-) aplicam-se no verão e os sinais mais (+) aplicam-se no inverno

Quadro 3.8 - Determinação do angulo de inclinação do painel solar, tendo em conta a maximização da radiação solar incidente [23]

Autores	Método	Comentário
Gunerhan [51] (Turkey) Kern [52] (South Africa)	<ul style="list-style-type: none"> Maximiza a radiação extraterrestre incidente sobre o painel. Maximiza a radiação directa incidente sobre o painel solar. 	<ul style="list-style-type: none"> O método que maximiza a radiação extraterrestre, não tem em conta a atenuação da radiação solar quando esta atravessa a atmosfera terrestre. Estes métodos podem ser efectivos em céus pouco nebulados. Inconsequente em condições de nebulosidade acentuada pois não tem em conta os efeitos das radiações difusa e reflectida. O ângulo de inclinação recomendado é o angulo da latitude do lugar.
Hartley [53] (Spain) Yakup [54] (South East Asia) Elminir [55] (Egypt) Elsayed [58]	<ul style="list-style-type: none"> Maximiza a radiação global incidente sobre o painel solar. Este método usa valores de radiação horizontal global e difusa num modelo que prevê a radiação solar incidente num plano inclinado. Modelos usados para prever a radiação solar incidente num plano inclinado, incluindo estudos de Liu e Jordan [56] e também Temps-Coulson [57]. Investigou o angulo de inclinação óptimo em função do número de coberturas de vidro, ângulo da latitude, índice mensal de céu limpo, mês, e reflectividade envolvente. 	<ul style="list-style-type: none"> A precisão destes modelos foi credenciado para a baixa presença de nebulosidade nestas áreas e pelo predomínio da radiação directa na radiação global. Elsayed observou que quando o índice de céu limpo decresce, mantendo todos os restantes parâmetros constantes, o angulo óptimo de inclinação do painel decrescia também.

Convencionalmente, dada complexidade de alguns cálculos, opta-se por considerar o ângulo de inclinação dos painéis solares igual à latitude do lugar em questão.

O sombreamento é outro factor de enorme importância no que diz respeito ao perfeito rendimento dos painéis solares.

Mais uma vez há que ter em conta a tipologia urbanística, para prever eventuais sombras causadas por outros edifícios nas imediações do painel solar a instalar.

A seguinte expressão permite prever se é ou não significativa a sombra causada por determinado obstáculo:

$$Ho = \arctg \frac{H}{d} \quad (2.3)$$

Onde, Ho representa o ângulo de obstrução, H a altura do edifício causador de sombreamento, e d a distância entre os edifícios.

Usualmente, quando se pretende evitar o sombreamento causado por pequenas obstruções é comum convencionar-se os valores [41]:

- $L = 1.5 \times C$ para Latitudes entre $25-35^\circ$
- $L = 2 \times C$ para Latitudes entre $35-45^\circ$

Na seguinte figura ilustram-se as variáveis em jogo nas expressões anteriores.

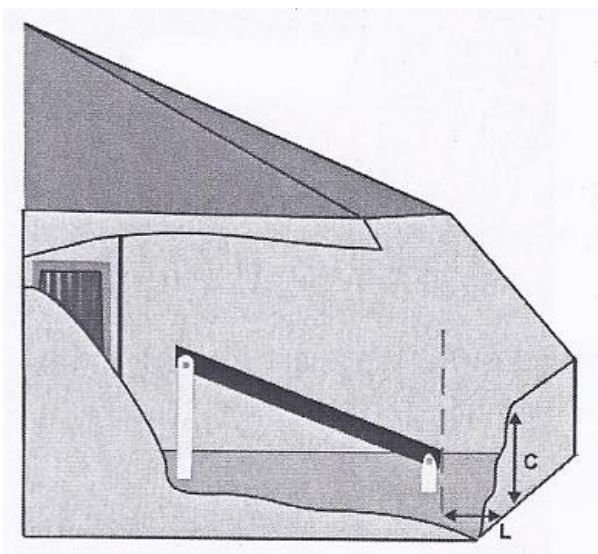


Fig. 3.8 - Distância L recomendada para evitar o sombreamento causado por um obstáculo de altura C [41]

Por outro lado se a instalação for realizada em edifícios cuja possibilidade de planeamento urbanístico já não permite qualquer margem de manobra, por motivos de diversas ordens, então deverá ser definido outro local para instalação do painel solar, como forma de evitar situações limitadoras do rendimento do painel como mostra a seguinte figura.

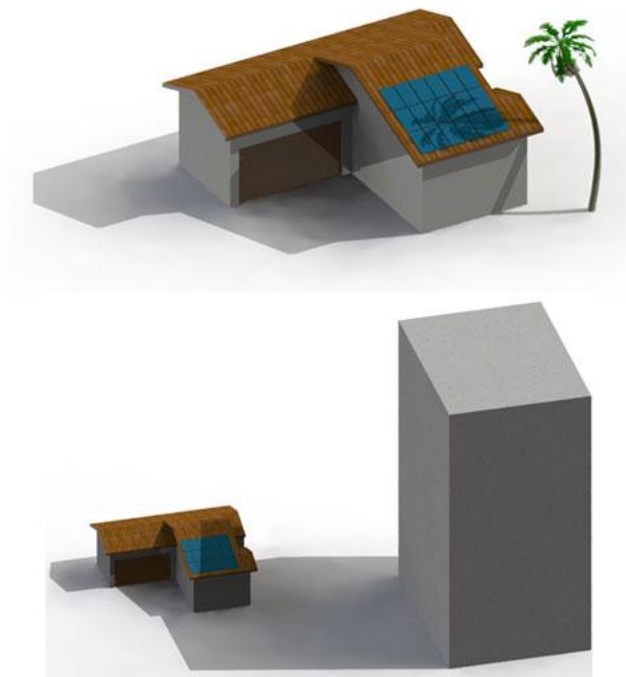


Fig. 3.9 - Sombreamento sobre painéis solares [59]

Perante problemáticas de sombreamento, como a anteriormente ilustrada, ou ainda situações de índole urbanística, onde uma determinada distribuição da malha urbana que gere fachadas cuja exposição não seja tão susceptível a ganhos solares, poderão ser estudadas novas estratégias de posicionamento dos painéis solares que potenciem o seu rendimento ao máximo.

Uma das estratégias poderá passar por uma comunhão do quarteirão para a produção de energia fotovoltaica.

Isto é, olhando para a Figura 2.34 (Capítulo 2) verificamos que ruas com directriz Norte-Sul geram fachadas orientadas a Este e Oeste e ruas com directriz Este-Oeste geram fachadas orientadas a Norte e a Sul (ideais para orientação dos módulos fotovoltaicos). É justamente neste ponto que poderá então entrar o conceito da *comunhão do quarteirão para a produção de energia*, uma vez que, usufruindo das habitações cuja orientação seja favorável, poderá ser produzida, acumulada e conduzida ao longo destas habitações energia para abastecer as habitações cuja orientação não seja tão favorável ou cuja cobertura se encontre limitada não só devido a sua área como também a possíveis sombreamentos causados por outros edifícios ou outros obstáculos, potenciando desta forma o investimento feito.

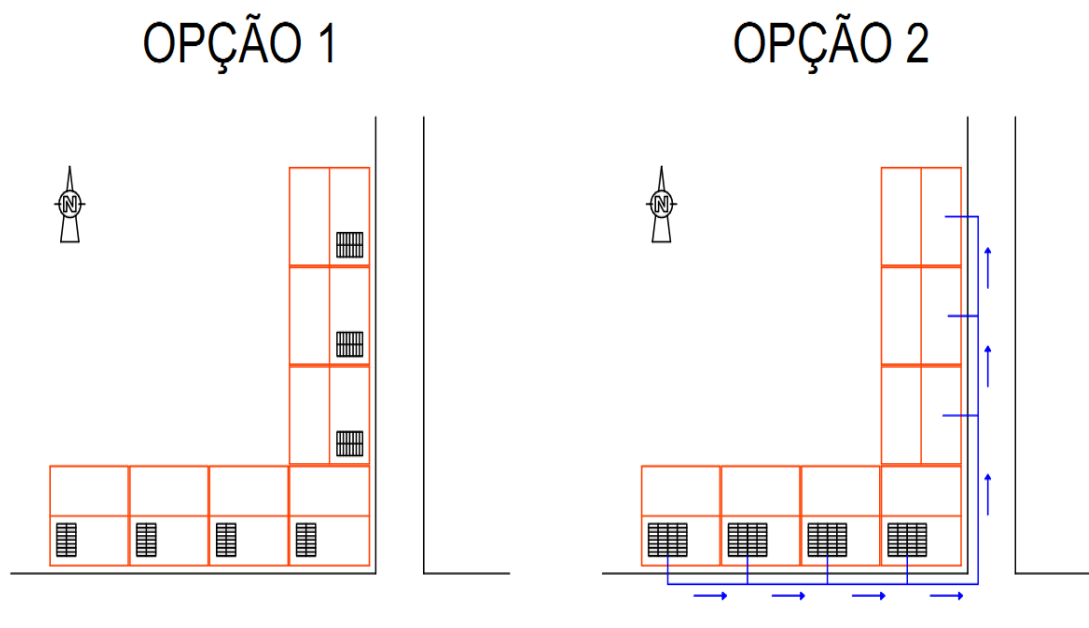


Fig. 3.10 - Opção alternativa para fornecimento de energia em habitações com mau posicionamento geográfico

- A opção 1, na qual se dispõem os módulos solares individualmente para cada habitação independentemente da sua orientação geográfica. Nesta situação as habitações resultantes da directriz viária Norte-Sul, apresentam fachadas a Este e Oeste não sendo nenhuma delas a óptima para a produção de energia.
- Na opção 2, verifica-se a aplicação da “*comunhão do quarteirão para a produção de energia*”, na qual as habitações com fachadas orientadas a Sul, usufruindo das suas melhores condições de exposição solar, irão então distribuir a energia acumulada nos seus módulos solares para as habitações das ruas com directriz Norte-Sul.

Como é óbvio esta segunda opção poderá levantar questões como:

- O facto de este problema só surgir quando existem casos de sombreamento ou orientação da rua desfavorável em coberturas inclinadas cujas águas não nos permitem uma orientação satisfatória;
- Os custos de instalações eléctricas suplementares para implementar este sistema compensam os ganhos energéticos de que se poderá usufruir?

Não se poderá dar uma resposta definitiva a esta questão pois cada caso é um caso, apresentando variáveis que diferem muito de local para local, mas seguramente para situações de extrema necessidade será a opção mais plausível.

Existe ainda a possibilidade de integração de módulos solares em fachadas. Na ocorrência de uma determinada cobertura inclinada, que só por si já nos levanta algumas limitações, juntando-se uma má orientação do edifício, a consideração das fachadas com melhor orientação geográfica é sem dúvida um factor a ter em conta que possivelmente irá dispor de uma maior área para implementação de módulos solares, para além disso existem hoje soluções estéticas bastante atractivas as quais possibilitam não apenas a consideração desta opção em casos de extrema necessidade, tornando-se esta numa opção evidente.

3.5. Síntese

Foram apresentadas no presente Capítulo duas soluções de produção de energia alternativa, passíveis de enquadrar em contexto urbano, tendo em consideração o contexto da cidade de Beja que no seguinte Capítulo será explorado.

Aprofundaram-se as questões relativas às tecnologias inerentes à produção de energia solar tanto térmica como fotovoltaica, assim como as opções existentes no mercado para cada uma dessas soluções.

Foram ainda apresentados para cada um dos casos, os dados necessários para o projecto e dimensionamento de cada uma das formas de obtenção de energia. Apresenta-se na Figura 3.11 a síntese da análise técnica para as soluções estudadas:

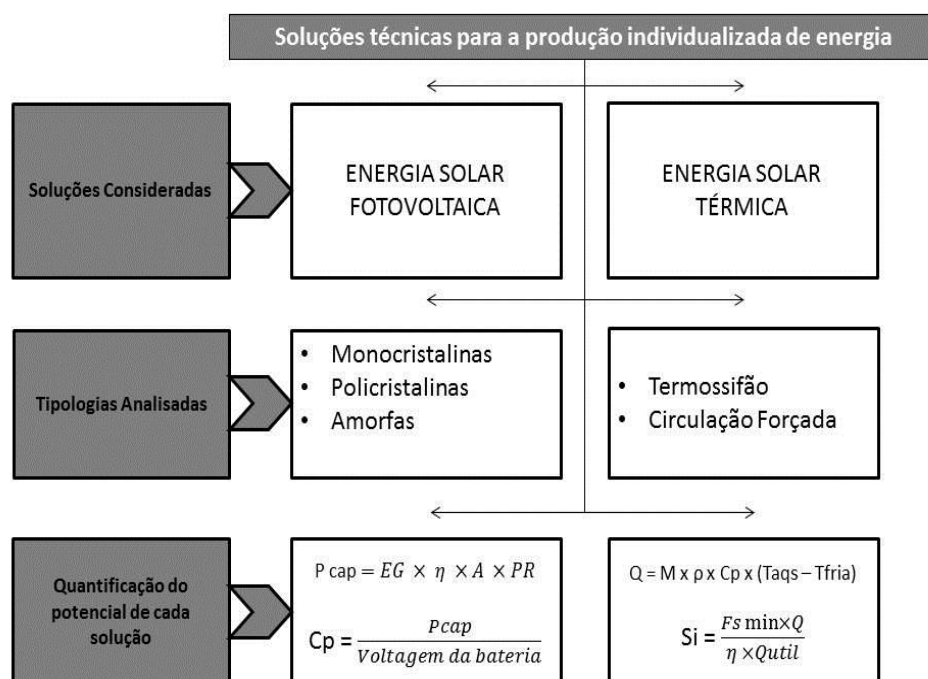


Fig. 3.11 - Síntese técnica das soluções estudadas

Uma vez realizada a análise técnica de ambas as soluções, foram abordados alguns dos factores que poderão intervir com os potenciais de cálculo antes apresentados, sobretudo quando o projecto de uma instalação está remetido para um contexto urbano. Para cada um desses factores ficou conhecida a forma como interfere no sistema de produção de energia e formas possíveis de mitigar essas interferências. O Quadro 3.9 tem por objectivo sintetizar cada um dos factores apresentados, assim como as formas de optimização.

Quadro 3.9 - Factores determinantes para o rendimento dos painéis solares e respectivas formas de mitigação

Factores Analisados	Energia Solar Térmica (EST)	Energia Solar Fotovoltaica (ESF)	Proposta de Resolução para EST	Proposta de Resolução para ESF
Orientação	✓	✓	A orientação ideal para qualquer painel situado no hemisfério norte será a sul, podendo haver oscilações entre os 45° Sudoeste e os 45° Sudeste.	
Inclinação	✓	✓	A inclinação ideal dos painéis do solares fixos durante todo o ano deverá ser igual ao angulo da latitude do local menos 5°	
Sombreamento	✓	✓	<p>Para prever as sombras causadas por outros edifícios deverá ser usada a expressão:</p> $Ho = \arctg \frac{H}{d}$ <p>Para evitar o sombreamento causado por obstáculos de menores dimensões é usual considerar-se um distanciamento dos paineis em relação aos obstáculos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $L = 1.5 \times C$ para Latitudes entre 25-35° • $L = 2 \times C$ para Latitudes entre 35-45° <p>Onde C representa a altura do obstáculo.</p>	
Malha urbana	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • A definição da orientação viária deve ter em conta que irá determinar a orientação das fachadas dos edificios, sendo que as fachadas a sul representam uma condição indispensável para o aproveitamento energético. • Possibilidade de integração de módulos solares em fachadas. 	<p>Os problemas gerados pela malha urbana normalmente são de difícil resolução pois quase sempre são de carácter definitivo. Como tal uma forma de contornar problemas de acesso a energia solar devido à malha urbana poderá ser a “comunhão do quarteirão para a produção de energia”.</p>
			✗	
Fracção solar	✓	✗	<p>Para evitar problemas de excessivo sobredimensionamento dos painéis numa estação face a outra, é usado este parâmetro que normalmente ronda os 30% para satisfazer as necessidades durante o Inverno e 85% durante o Verão. Sendo o restante garantido por um sistema de apoio ao solar térmico.</p>	✗

4. ESTUDO PRÁTICO NO CONTEXTO DA CIDADE DE BEJA

Nos Capítulos anteriores foram abordadas as questões necessárias para que possa ser analisado um caso prático em contexto urbano. Explicitaram-se, então, não só os factores urbanísticos e climáticos que irão influenciar o rendimento da produção de energia solar como também os factores tecnológicos inerentes a diferentes aparelhos produtores de energia solar.

Neste Capítulo, pretende-se a aplicação conjunta de todos esses factores, para ser realizada uma simulação de produção de energia fotovoltaica em contexto urbano. Uma vez realizada essa simulação, será feita uma análise de viabilidade económica do investimento em causa, tendo em conta a filosofia de Microgeração, ou seja, usufruir do potencial de produção energética dos edifícios em estudo para vender essa mesma energia à rede de acordo com os regimes remuneratórios existentes.

4.1. Descrição do caso de estudo

O estudo prático irá incidir sobre um quarteirão com as seguintes características:

Quadro 4.1 - Distribuição de espaços no quarteirão estudado

Área total do quarteirão	7665 m ²	-
Área total de edifícios	2992 m ²	39%
Vias e estacionamento	2452 m ²	32%
Espaço público	2221 m ²	29%



Fig. 4.1 - Quarteirão a ser estudado

O quarteirão é composto por dez edifícios que, por uma questão de gestão de dados, foram numerados da seguinte forma:



Fig. 4.2 - Numeração dos edifícios

No seguinte quadro apresentam-se os dados que foram necessários recolher de cada edifício para o estudo em epígrafe.

Quadro 4.2 – Dados referentes a cada edifício

Edifício	Altura [m]	Número de Pisos	Número de Apartamentos	Número de Habitantes	Tipo de Uso
Edifício 1	15	4	12	34	Habitação
Edifício 2	15	4	8	20	Habitação
Edifício 3	15	4	10	26	Habitação
Edifício 4	15	4	11	30	Habitação
Edifício 5	15	4	8	24	Habitação
Edifício 6	15	4	8	24	Habitação
Edifício 7	15	4	8	30	Habitação
Edifício 8	15	4	12	34	Habitação
Edifício 9	15	4	12	34	Habitação
Edifício 10	15	4	8	32	Habitação

4.2. Metodologia utilizada para o estudo

De acordo com os Capítulos anteriores, para uma análise eficaz da produção de energia fotovoltaica em contexto urbano, terão de ser tidos em conta diversos factores climáticos e urbanísticos, como:

- Radiação Solar para a latitude e longitude do local;
- Orientação das ruas
- Largura das ruas
- Altura das edificações
- Tipologia das edificações
- Pendentes de suporte
- Sombreamentos
- Áreas disponíveis

4.2.1. Aplicação da ferramenta *Ecotect*

Para lidar de forma correcta e eficaz com todas estas variáveis para o objectivo proposto, recorreu-se ao *software* de simulação *Ecotect Analysis 2011*.

O processo de simulação realizado com o *software* pode resumir-se no seguinte esquema:

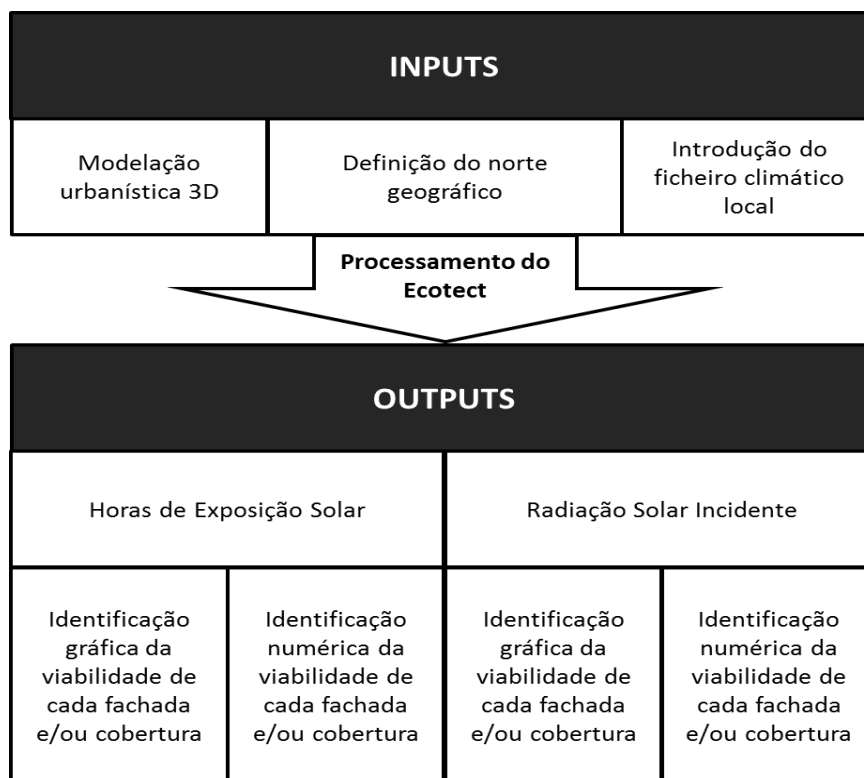


Fig. 4.3 - Esquematização do processo de simulação com o *Ecotect Analysis*

4.2.1.1. Inputs no *Ecotect Analysis*

Modelação Urbanística

O primeiro passo para a simulação em *Ecotect* prendeu-se precisamente com a modelação 3D do quarteirão em análise. Para tal, realizou-se o importe do ficheiro *AutoCAD* com a planta do quarteirão fornecida pela Câmara Municipal de Beja. Através da planta foi possível executar o modelo 3D, onde se criaram 10 “Zone’s” correspondentes aos 10 edifícios apresentados no Quadro 4.2 e na Figura 4.2. É imperativo que o quarteirão seja dividido por essas “Zone’s” (Edifícios), pois cada uma ficará assim composta pelas respectivas Fachadas – “Wall’s” e pelas suas Coberturas – “Ceiling’s”, possibilitando posteriormente a análise detalhada de cada um desses elementos, como será mais à frente apresentado.

Introdução do ficheiro climático

Após realização da modelação 3D, com a devida orientação geográfica, deverá ser importado o ficheiro climático. Para tal, recorreu-se ao sítio electrónico do *U.S. Department of Energy*, de onde é possível descarregar os ficheiros climáticos de todo o globo. Relativamente a Portugal, apenas estão disponíveis os ficheiros climáticos para Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Madeira, Lajes, Lisboa e Porto. Dada a inexistência de dados climáticos para Beja, olhando para o Anexo I (Radiação Global em Portugal), verifica-se que as diferenças de radiação solar incidentes em Beja pouco diferem das registadas em Évora. Por esse facto e dada a proximidade entre ambas as cidades, o que implica que tenham latitudes muito semelhantes, optou-se por fazer a simulação com os dados climáticos de Évora.

Introduzidos esses dados, e sem efectuar ainda qualquer simulação, o modelo apresenta o seguinte aspecto:

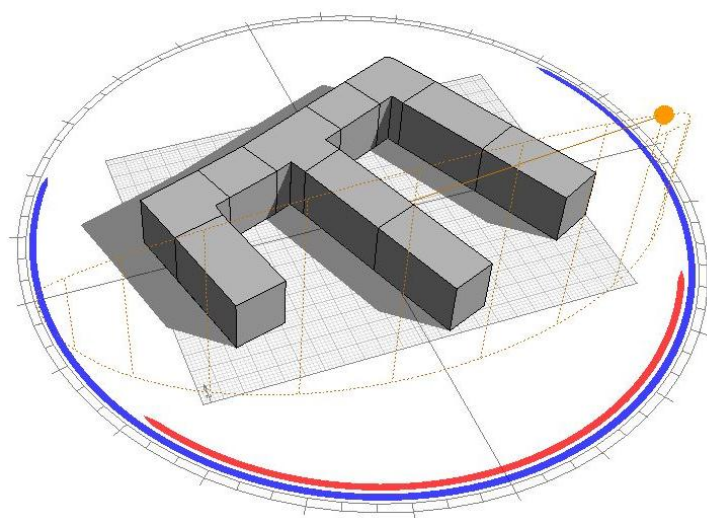


Fig. 4.4 - Modelo 3D do quarteirão evidenciando os sombreamentos para a posição solar no dia 21 de Setembro pelas 10:00 (Perspectiva A)

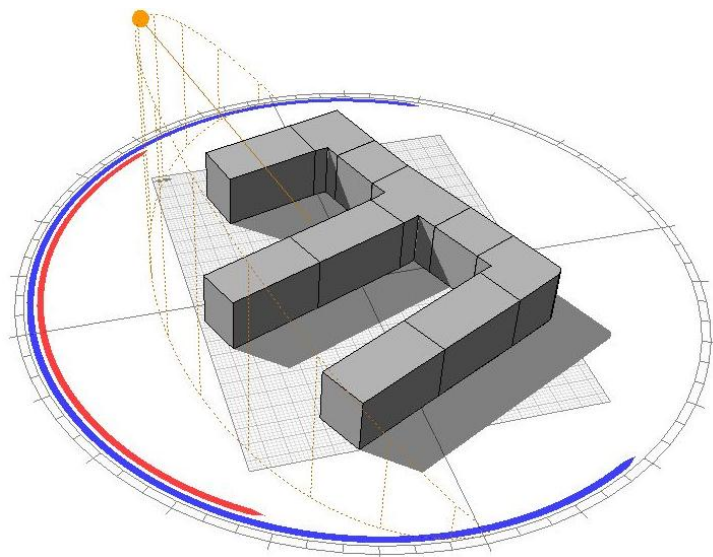


Fig. 4.5 - Modelo 3D do quarteirão evidenciando os sombreamentos para a posição solar no dia 21 de Setembro pelas 14:00 (Perspectiva B)

4.2.1.2. Outputs do *Ecotect Analysis*

Uma vez introduzidos todos os dados necessários, foram então realizadas duas simulações, que são descritas seguidamente:

1ª Simulação – Avaliação das horas de exposição solar do quarteirão

A primeira simulação executada no *Ecotect*, recaiu sobre a análise das horas médias diárias de exposição solar, durante o período de 1 ano, compreendendo um horário entre as 8:00 e as 18:00. A simulação foi feita para todos os elementos que compõem os edifícios (fachadas e coberturas).

Pretende-se com esta simulação estudar quais os elementos dos edifícios analisados que poderão ser ou não potenciais produtores de energia solar fotovoltaica, uma vez que elementos cuja exposição solar dure poucas horas não deverão ser considerados, por não apresentarem rentáveis.

Como resultado desta simulação e conforme o disposto na Figura 4.3, foi possível obter dois tipos de análise: gráfica e numérica.

Resultados gráficos da 1ª simulação

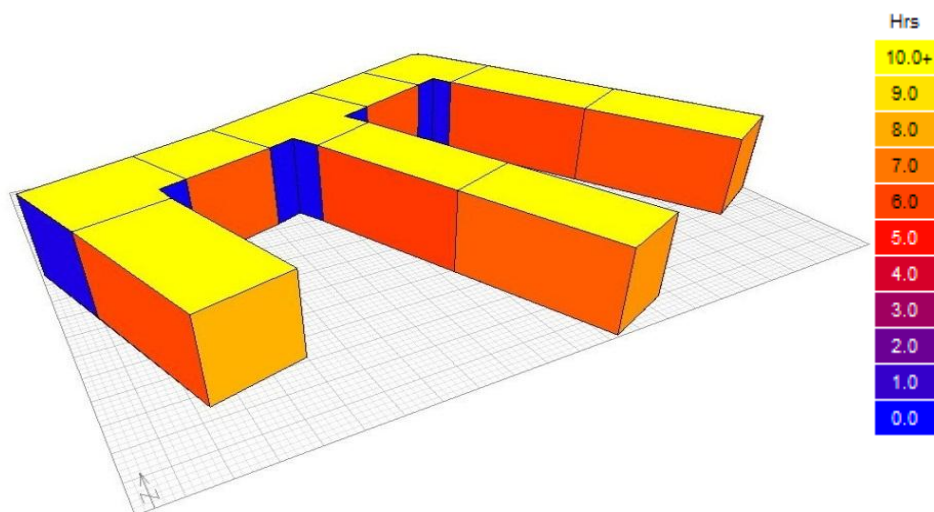


Fig. 4.6 - Número médio de horas de Sol (Perspectiva A)

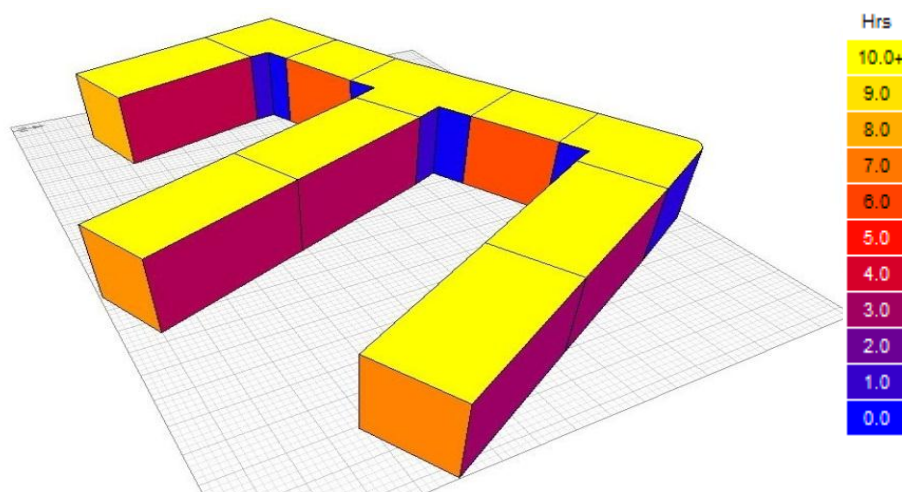


Fig. 4.7 - Número médio de horas de Sol (Perspectiva B)

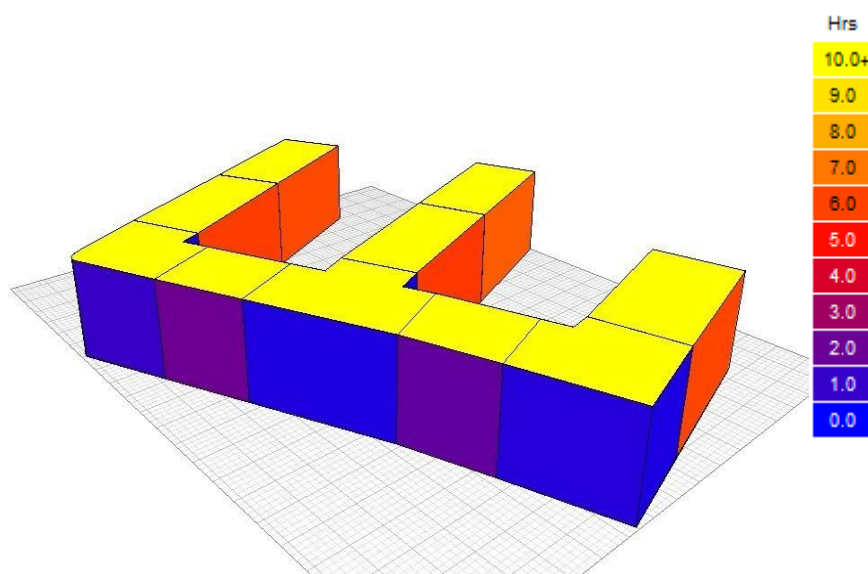


Fig. 4.8 - Número médio de horas diárias de Sol (Perspectiva C)

De uma rápida análise efectuada ao *report* gráfico do *Ecotect*, pode dizer-se o seguinte:

- Relativamente às coberturas, verificou-se que não havendo qualquer sombreamento, dada a homogeneidade das alturas dos edifícios que compõem o quarteirão estudado, o seu aproveitamento de horas de sol foi total.
- No que diz respeito às fachadas, como seria de esperar nem todas elas revelaram uma exposição adequada, dado o sombreamento causado pelos edifícios adjacentes, visto não ser cumprido o critério de relações entre distâncias e alturas dos edifícios já falado em capítulos anteriores e também devido às suas diferentes orientações.
- No geral, verifica-se claramente, um maior aproveitamento dos elementos que apresentam uma orientação compreendida entre os quadrantes Sudoeste e Sudeste.

Resultados numéricos da 1ª simulação

Os resultados numéricos relativos à primeira simulação foram realizados em duas fases, uma referente às coberturas e outra referente às fachadas.

As tabelas exportadas do *Ecotect* fornecem, para cada um dos dez edifícios analisados, dados rigorosos referentes a cada elemento que compõe o edifício, como: área do elemento em questão; número médio diário anual de horas com exposição solar; percentagem de exposição solar e percentagem de sombreamento. No Anexo III apresentam-se essas tabelas, uma para análise de coberturas e outra para análise de fachadas.

Com o objectivo de facilitar a compreensão dessas mesmas tabelas é apresentado um esquema (ANEXO V), com a correspondência em planta de cada número atribuído pelo *Ecotect* que designa cada fachada.

2ª Simulação – Avaliação da radiação solar incidente no quarteirão

Ficou bem patente ao longo do Capítulo 3 que toda e qualquer forma de determinação da energia gerada por um painel solar tem por base a radiação solar que nele incide.

Uma vez realizada a primeira simulação, que permite fazer um rastreio dos potenciais elementos onde possam vir a ser instalados os painéis fotovoltaicos, é necessária, conforme supracitado, uma quantificação da radiação solar que irá incidir sobre cada elemento de cada edifício.

O simulador *Ecotect* permite então uma análise dinâmica para o mesmo período de tempo (1 ano) e com o mesmo intervalo horário escolhido na primeira simulação, gerando valores de radiação solar global incidente em Wh/m^2 .

À semelhança do que aconteceu quando da 1ª simulação, para este caso também se obtiveram resultados gráficos e numéricos, como de seguida se apresentam.

Resultados gráficos da 2ª simulação

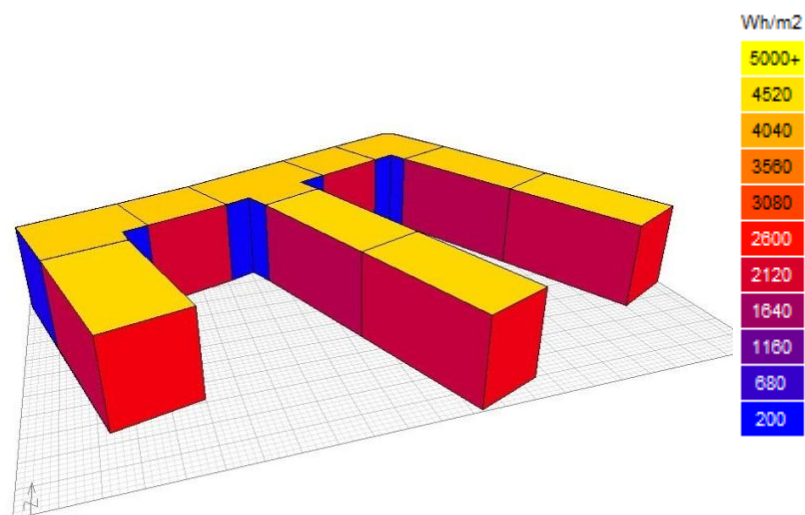


Fig. 4.9 - Radiação solar global [Wh/m²] incidente no quarteirão (Perspectiva A)

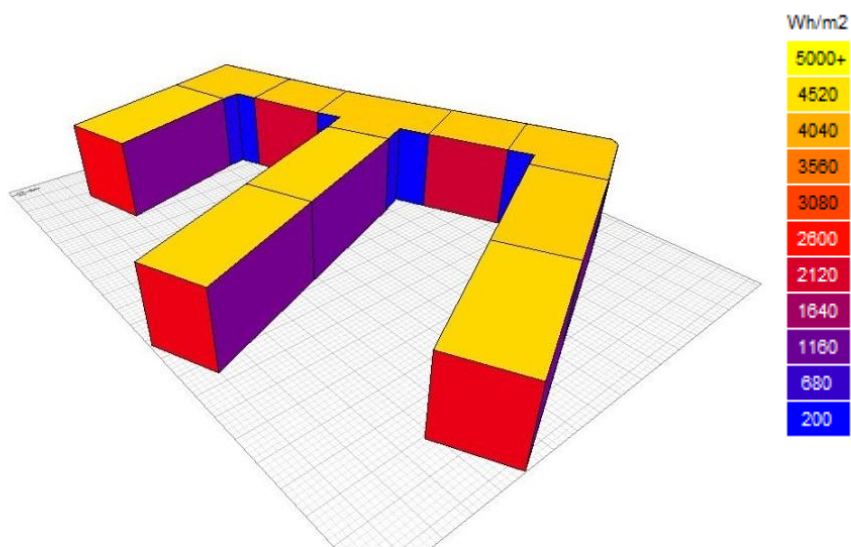


Fig. 4.10 - Radiação solar global [Wh/m²] incidente no quarteirão (Perspectiva B)

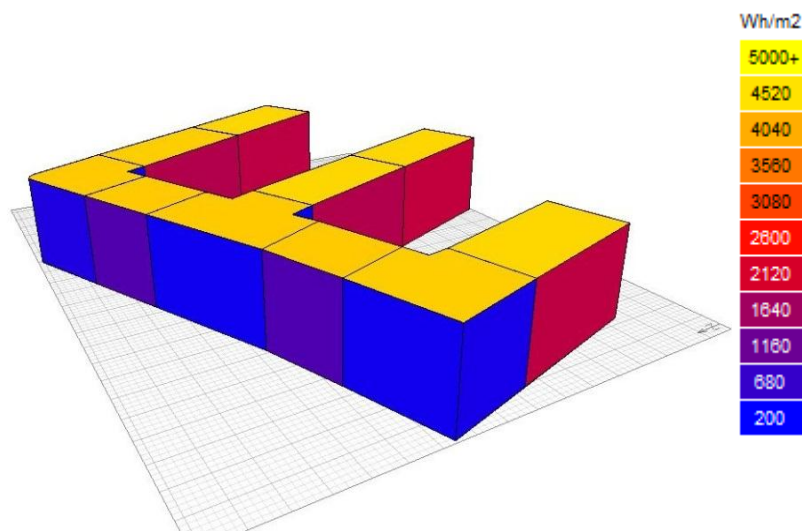


Fig. 4.11 - Radiação solar global [Wh/m²] incidente no quarteirão (Perspectiva C)

As conclusões a tirar da representação gráfica da radiação solar global incidente no quarteirão são em tudo semelhantes às retiradas da 1ª simulação:

- No que às coberturas diz respeito, dada a inexistência de heterogeneidades nas alturas dos edifícios e visto que a modelação 3D considera as coberturas como planas, o seu aproveitamento da radiação será muito próximo dos 100%;
- Relativamente às fachadas, os valores de radiação incidente já serão bem menores, por motivos de orientações assim como de sombreamentos causados por edifícios adjacentes em desrespeito com a expressão apresentada no Capítulo 3:

$$Ho = \arctg \frac{H}{d} \quad (2.3)$$

- No global, à semelhança do que foi dito também para as horas de exposição solar, as fachadas viradas a Norte apresentam valores de radiação incidente desprezáveis quando comparados com qualquer fachada orientada entre os quadrantes Sudeste e Sudoeste.

Uma última nota referente a ambos os *report's* gráficos anteriormente apresentados. A fachada 76 surge graficamente a azul, isto deve-se a um erro do *software*. Tendo em conta a sua orientação e ausência de obstrução por parte de outros edifícios não faria qualquer sentido que a fachada não estivesse tão exposta quanto por exemplo a fachada 69. De salientar que este erro apenas surge sob a forma gráfica, pois nos *report's* numéricos os seus valores já se apresentam coerentes.

Resultados numéricos da 2ª simulação

Os resultados numéricos relativos à segunda simulação foram também eles realizados em duas fases, uma referente às coberturas e outra referente às fachadas.

As tabelas exportadas do *Ecotect* fornecem, para cada um dos dez edifícios analisados, dados rigorosos referentes a cada elemento que compõe o edifício, como: área, radiação global média diária, radiação directa média diária e radiação difusa média diária. Em anexo (ANEXO IV), apresentam-se essas tabelas, uma para análise de coberturas e outra para análise de fachadas.

4.2.2. Manipulação dos resultados obtidos pelo *Ecotect*

Analisando os resultados obtidos pelo *software Ecotect Analysis*, facilmente se observa que, tendo em conta tudo o que foi dito em capítulos anteriores, se trata de valores muito simplistas e demasiado globais, pois consideram os edifícios como simples paralelepípedos. Muitos factores como tipologia das coberturas, elementos das coberturas que possam gerar sombreamento, elementos arquitectónicos nas fachadas, vãos envidraçados e número de pisos dos edifícios deverão ser levados em conta, para alcançar valores o mais possível próximo da realidade.

Este tópico irá precisamente incidir sobre esses factores, mostrando e justificando as formas consideradas para contornar o simplismo desses resultados.

Mais uma vez, foi feita uma análise separada para a situação das coberturas e das fachadas.

4.2.2.1. Critérios de redução aplicados às coberturas dos edifícios

Primeiro, começou por verificar-se quais das coberturas seriam viáveis para a produção de energia solar fotovoltaica. Como já foi dito anteriormente, todas as coberturas apresentam uma boa exposição solar, visto não serem alvo de qualquer sombreamento causado por outros edifícios, uma vez que o quarteirão em estudo é marcado por uma grande homogeneidade no que às alturas dos edifícios diz respeito. Com efeito, todas as coberturas dos dez edifícios estudados serão aproveitadas para a produção de energia.

1º Critério de redução aplicado às áreas das coberturas fornecidas pelo *Ecotect*

O primeiro critério de redução diz respeito às tipologias das coberturas. No Quadro 4.3 são apresentadas as tipologias das coberturas de cada edifício pertencente ao quarteirão em análise.

Quadro 4.3 - Tipologias das coberturas dos edifícios em estudo

Edifício	Tipologia da cobertura
Edifício 1	2 Águas
Edifício 2	4 Águas
Edifício 3	2 Águas
Edifício 4	2 Águas
Edifício 5	2 Águas
Edifício 6	4 Águas
Edifício 7	2 Águas
Edifício 8	4 Águas
Edifício 9	2 Águas
Edifício 10	4 Águas

Inúmeras vezes foi referido ao longo deste trabalho, que a posição ideal para implementação dos painéis fotovoltaicos deveria estar compreendida ente Sudoeste e Sudeste. O diagrama abaixo apresentado é uma perfeita ilustração do mesmo.

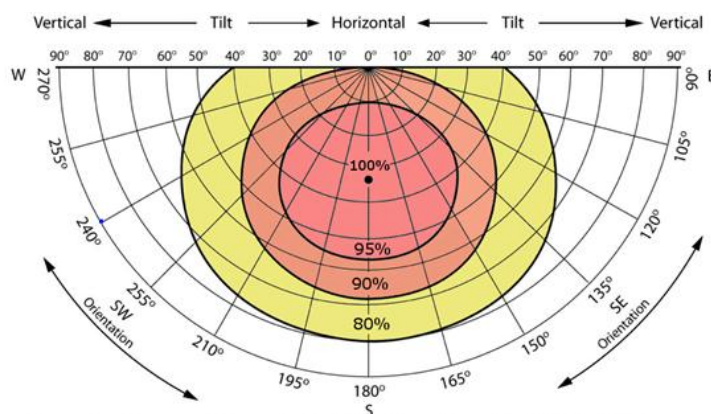


Fig. 4.12 - Variação do rendimento dos painéis com a orientação e inclinação a que estão sujeitos [60]

Perante isto, optou-se por aplicar o factor de redução (f_r), o qual para as orientações dos edifícios e para as diferentes tipologias das coberturas irá aproximar a área de aproveitamento da cobertura a um valor real (Figura 4.13).

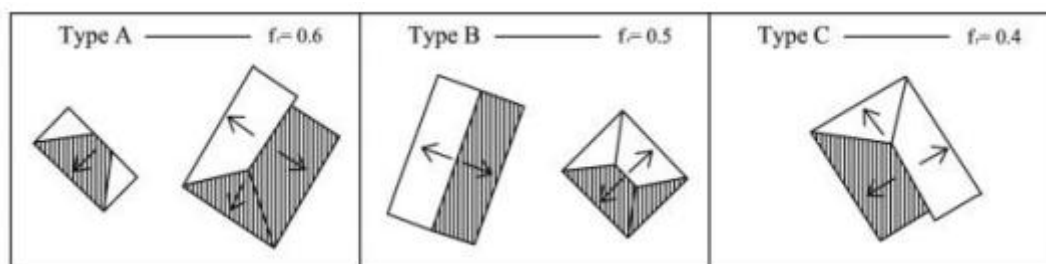


Fig. 4.13 - Factor de redução aplicado a coberturas consoante a sua tipologia e orientação [61]

Então, tendo por base não apenas a orientação mas também os dados apresentados no Quadro 4.3, a aplicação dos factores de redução f_r , decorreu da seguinte forma:

Quadro 4.4 - Aplicação do 1º factor de redução para as coberturas

Edifício	Elemento	Área Inicial [m ²]	Factor de redução aplicado (f_r)	Área inicial x f_r [m ²]
1	Cobertura	365,44	0,5	182,72
2	Cobertura	279,93	0,6	167,96
3	Cobertura	190,32	0,5	95,16
4	Cobertura	364,35	0,6	218,61
5	Cobertura	192,76	0,5	96,38
6	Cobertura	272,77	0,5	136,38
7	Cobertura	340,83	0,5	170,42
8	Cobertura	335,65	0,5	167,82
9	Cobertura	329,59	0,5	164,80
10	Cobertura	320,25	0,5	160,12

Duas notas dignas de registo: pesar da Figura 4.13, demonstrar que para coberturas de duas ou 4 águas se deve utilizar um $f_r = 0,5$, no Edifício 2 optou-se por utilizar um $f_r = 0,6$ pois dada a sua geometria existe a possibilidade de aproveitamento em 3 das águas e não apenas duas. Relativamente ao Edifício 4, a opção por $f_r = 0,6$, deve-se ao facto de haver uma água voltada a sul com um ligeiro prolongamento (ver Figura 4.1) o que implica que seja superior a 50% a área de cobertura com boa exposição solar. Os restantes edifícios obedecem directamente à regra descrita pela Figura 4.13.

2º Critério de redução aplicado às áreas das coberturas fornecidas pelo *Ecotect*

Uma vez resolvidas as “imperfeições” geométricas das coberturas, tempo agora para estudar os sombreamentos causados por componentes existentes nas mesmas como chaminés e caixas de elevador, entre outros.

Como se sabe, os painéis fotovoltaicos são investimentos demasiado onerosos para que factores que levem a um menor rendimento sejam ignorados. Como tal, situações como as

evidenciadas na Figura 4.14, têm de ser contempladas na determinação da área onde o painel será aplicado.

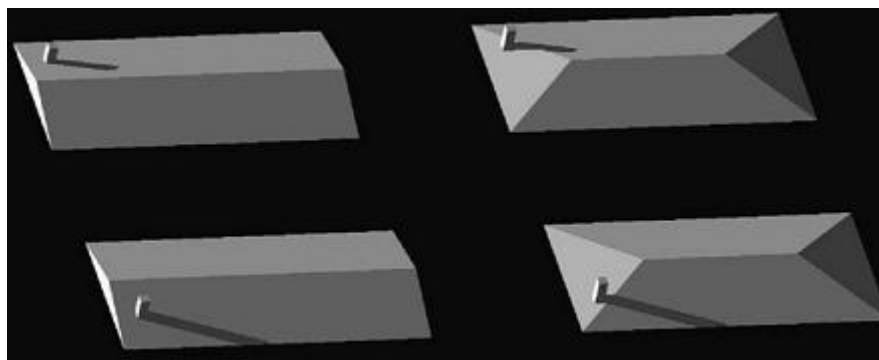


Fig. 4.14 - Sombreamentos causados pelas chaminés [36]

Para erradicar estas situações, optou-se por aplicar um coeficiente de facilidade C_f , o qual permitirá excluir áreas obstruídas por elementos emergentes nas coberturas [59]. Este factor é obtido da seguinte forma:

Quadro 4.5 - Intervalos de categorias para densidade populacional e edificada [62]

Categoria	Densidade populacional	Densidade de edifícios
	D_p [habitantes/km ²]	D_b [edifícios/km ²]
<i>Low</i>	0-2400	0-1000
<i>Medium</i>	2400-4300	1000-1700
<i>High</i>	4300-7800	1700-2700
<i>Very high</i>	>7800	>2700

Quadro 4.6 - Nomenclaturas para as tipologias urbanísticas [62]

D_b	D_p			
	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Very high</i>
<i>Low</i>	L-L	L-M	L-H	L-VH
<i>Medium</i>	M-L	M-M	M-H	M-VH
<i>High</i>	H-L	H-M	H-H	H-VH
<i>Very high</i>	VH-L	VH-M	VH-H	VH-VH

Relativamente ao Quadro 4.5, a cidade de Beja apresenta uma densidade populacional e densidade de edifícios inferiores a 2400 habitantes/km² e 1000 edifícios/km², respectivamente. Isto leva a que a categoria correspondente à cidade de Beja seja de L-L (Quadro 4.6).

Então segundo Salvador Izquierdo [62], para a categoria L-L corresponde um coeficiente de facilidade $C_f = 0,92$.

Definido novo coeficiente de redução, apresenta-se no seguinte quadro a sua aplicação ao caso de estudo:

Quadro 4.7 - Aplicação do 2º factor de redução para as coberturas

Edifício	Elemento	Área inicial x f_r [m ²]	Coefficiente de facilidade (C_f)	Área final [m ²]
1	Cobertura	182,72	0,92	168,10
2	Cobertura	167,96	0,92	154,52
3	Cobertura	95,16	0,92	87,54
4	Cobertura	218,61	0,92	201,12
5	Cobertura	96,38	0,92	88,67
6	Cobertura	136,38	0,92	125,47
7	Cobertura	170,42	0,92	156,78
8	Cobertura	167,82	0,92	154,40
9	Cobertura	164,80	0,92	151,61
10	Cobertura	160,12	0,92	147,31

Obteve-se, desta forma, o total das áreas das coberturas disponíveis para instalação dos painéis fotovoltaicos.

4.2.2.2. Critérios de redução aplicados às fachadas dos edifícios

Relativamente às fachadas dos edifícios, também aqui houve necessidade de aplicar critérios de redução, que passam a ser seguidamente apresentados e devidamente justificados.

1º Critério de redução aplicado às fachadas dos edifícios

O primeiro critério de redução prende-se com a selecção das fachadas que poderão vir a receber os painéis fotovoltaicos.

Ao contrário do que sucedeu com as coberturas, em que todas elas apresentavam condições óptimas de exposição solar, o mesmo não acontece com as fachadas. Analisando as tabelas incluídas no “*Report de fachadas*” (Anexo III), verifica-se que algumas delas apresentam uma média de horas de exposição solar reduzida.

Então, pretende-se nesta fase excluir todas aquelas fachadas cuja exposição solar seja inferior a 5,5 horas [39] pois, como é óbvio, o investimento financeiro será demasiado penalizador face ao aproveitamento que se teria nessas condições. Tendo por base os quadros apresentados no Anexo III, as fachadas que poderão ser aproveitadas para produzir energia apresentam-se seguidamente tabeladas:

Quadro 4.8 - Identificação das fachadas com melhores condições para instalar painéis fotovoltaicos

Edifício	Identificação do elemento	Tipo de elemento	Horas médias diárias de exposição solar [h]	Percentagem de exposição [%]	Percentagem de sombreamento [%]
1	66	Fachada	8,10	84,79	15,21
	69	Fachada	6,07	63,50	36,50
2	76	Fachada	6,07	63,50	36,50
3	80	Fachada	6,32	66,17	33,83
5	96	Fachada	6,15	64,34	35,67
7	112	Fachada	5,91	61,85	38,15
8	118	Fachada	6,11	63,96	36,04
	119	Fachada	7,22	75,60	24,41
9	124	Fachada	5,80	60,67	39,33
10	130	Fachada	6,47	67,66	32,34
	131	Fachada	7,46	78,04	21,96
Σ TOTAL			71,68	750,08	349,93
MAX			8,10	84,79	39,33
MIN			5,80	60,67	15,21
MÉDIA			6,52	68,19	31,81

2º Critério de redução aplicado às fachadas dos edifícios

Identificadas as fachadas que poderão ser utilizadas, passa-se ao estudo das áreas que efectivamente estão disponíveis.

O 2º critério de redução irá excluir a área de fachada respeitante ao piso térreo, uma vez que neste piso, por questões de segurança dos equipamentos (entre outras) não deverão ser instalados painéis fotovoltaicos.

Foi então aplicado um factor de redução, f_g , que depende do número de pisos dos edifícios, conforme se pode constatar na seguinte figura:

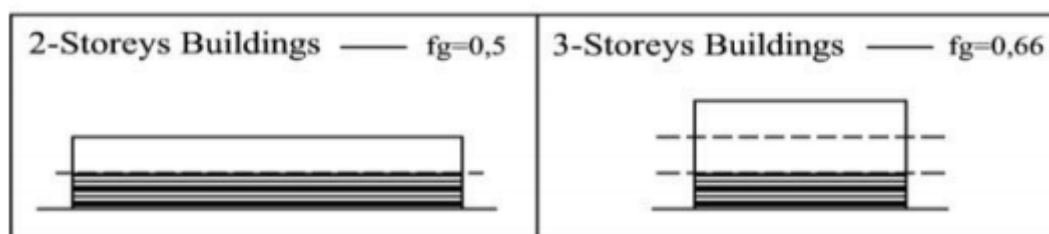


Fig. 4.15 - Factor de redução do primeiro piso (f_g) [61]

Todavia, conforme o disposto no Quadro 4.2, os edifícios em estudo apresentam todos 4 pisos, pelo que para o caso prático em epígrafe o factor será $f_g = 0,75$ que corresponde a $\frac{3}{4}$ da área da fachada disponíveis. (Figura 4.16)

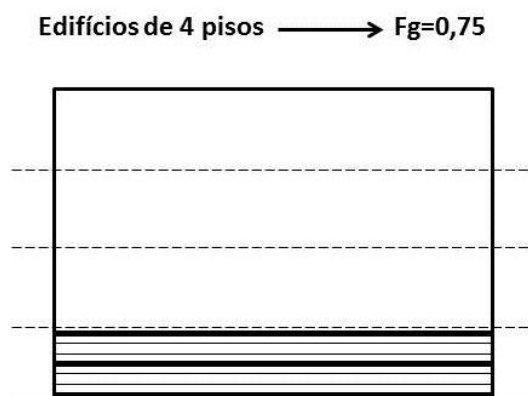


Fig. 4.16 - Factor de redução f_g para os edifícios em estudo

Vejamos então, no quadro infra, quais as áreas disponíveis após a aplicação do 2º critério de redução:

Quadro 4.9 – Área da fachada ponderada com o factor de redução f_g

Edifício	Identificação do elemento	Tipo de elemento	Área inicial [m ²]	Coeficiente de redução f_g	Área inicial x f_g [m ²]
1	66	Fachada	207,87	0,75	155,90
	69	Fachada	395,40	0,75	296,55
2	76	Fachada	235,96	0,75	176,97
3	80	Fachada	229,31	0,75	171,98
5	96	Fachada	224,01	0,75	168,00
7	112	Fachada	396,36	0,75	297,27
8	118	Fachada	390,00	0,75	292,50
	119	Fachada	193,64	0,75	145,23
9	124	Fachada	394,56	0,75	295,92
10	130	Fachada	390,01	0,75	292,50
	131	Fachada	184,12	0,75	138,09

3º Critério de redução aplicado às fachadas

Na aplicação de sistemas de painéis fotovoltaicos em fachadas, a composição das mesmas é um aspecto não despreciando.

Os vãos envidraçados são um dos elementos a ter em conta, visto que muito reduzem a área de aproveitamento das fachadas. Para considerar essa área, assumiu-se um rácio de percentagem de vãos envidraçados por fachada (R_v) de 20 %, que respeita o valor mínimo de referência de 10% estabelecido pelo Regulamento Geral das Edificações Urbanas [61, 63].

Após a aplicação deste critério, as áreas disponíveis para a implementação dos sistemas fotovoltaicos são as que constam do quadro que se segue:

Quadro 4.10 - Área da fachada ponderada com o factor de redução R_v

Edifício	Identificação do elemento	Tipo de elemento	Área inicial x f_g [m ²]	Coeficiente de redução R_v	Área inicial x R_v [m ²]
1	66	Fachada	155,90	-	155,90
	69	Fachada	296,55	0,2	237,24
2	76	Fachada	176,97	0,2	141,57
3	80	Fachada	171,98	0,2	137,58
5	96	Fachada	168,00	0,2	134,40
7	112	Fachada	297,27	0,2	237,81
8	118	Fachada	292,50	0,2	234,00
	119	Fachada	145,23	0,2	116,19
9	124	Fachada	295,92	0,2	236,74
10	130	Fachada	292,50	0,2	234,00
	131	Fachada	138,09	0,2	110,47

A fachada 66 foi subtraída da aplicação do factor de redução R_v , por se tratar de uma lateral do edifício, sem qualquer vão envidraçado.

4º Critério de redução aplicado às fachadas

Uma vez que a idade dos edifícios estudados ronda os vinte anos, carecem de outro factor de redução, o qual pretende ter em conta elementos arquitectónicos que possam dificultar a instalação dos painéis (uma vez que se trata de edifícios que não foram concebidos para este fim).

Nesta linha, à área da fachada que não será contemplada para a instalação dos painéis fotovoltaicos é atribuído um valor de 10% de redução.

Quadro 4.11 - Redução da área disponível em fachada devido a imperfeições arquitectónicas

Edifício	Identificação do elemento	Tipo de elemento	Área inicial x R_v [m ²]	Redução por defeitos arquitectónicos	Área inicial x R_v [m ²]
1	66	Fachada	155,90	-	155,90
	69	Fachada	237,24	0,1	213,51
2	76	Fachada	141,57	0,1	127,42
3	80	Fachada	137,58	0,1	123,83
5	96	Fachada	134,40	0,1	120,96
7	112	Fachada	237,81	0,1	214,03
8	118	Fachada	234,00	0,1	210,60
	119	Fachada	116,19	0,1	104,57
9	124	Fachada	236,74	0,1	213,06
10	130	Fachada	234,00	0,1	210,60
	131	Fachada	110,47	0,1	99,42

Mais uma vez para a fachada 66 não se aplicou qualquer coeficiente, pelos motivos já anteriormente apresentados.

Obtidas todas as áreas disponíveis (tanto ao nível das coberturas como das fachadas), passa-se agora para a contabilização da energia passível de ser produzida nas áreas de referência.

4.2.3. Energia produzida

No Capítulo 3, abordou-se a vertente técnica dos sistemas de produção de energia solar, tendo sido referido que o cálculo do potencial de produção dos sistemas fotovoltaicos estaria de acordo com a expressão:

$$P_{cap} = PR \times \eta \times (E_G \times A \times 365) \text{ [KWh/m}^2\text{/ano]} \quad (3.2)$$

Juntando as informações recolhidas pelo *software*, posteriormente optimizadas em cenários reais, foi então possível estimar a potência de energia captada pelos sistemas de produção fotovoltaica.

Os cálculos para esse efeito foram realizados considerando, mais uma vez, fachadas e coberturas individualmente. No Anexo VI, apresentam-se todos os cálculos efectuados relativos à produção de energia para cada elemento de cada edifício. No Quadro 4.12 é apresentado o resumo dos mesmos.

Quadro 4.12 - Energia gerada pelos painéis fotovoltaicos em cada edifício

Edifício	Elemento	Produção global por edifício [KWh/ano]
Edifício 1	Cobertura	54049,34
	Fachada	
	Fachada	
Edifício 2	Cobertura	32470,50
	Fachada	
Edifício 3	Cobertura	22559,58
	Fachada	
Edifício 4	Cobertura	30787,78
Edifício 5	Cobertura	22356,91
	Fachada	
Edifício 6	Cobertura	19207,17
Edifício 7	Cobertura	37996,14
	Fachada	
Edifício 8	Cobertura	46943,50
	Fachada	
	Fachada	
Edifício 9	Cobertura	37553,13
	Fachada	
Edifício 10	Cobertura	45940,82
	Fachada	
	Fachada	

Para os cálculos efectuados contemplaram-se painéis solares com as seguintes características:

Quadro 4.13 - Características dos painéis utilizados

Módulo	Martifer Solar PV modules 210p
Dimensões	1639 x 982 [mm]
Potência máxima	210 Wp
Eficiência do módulo (η)	13,1%

A única a característica relevante, até ao momento, é o rendimento dos painéis utilizados (13,1%), sendo que as restantes características serão amiúde exploradas.

4.3. Análise dos resultados da produção de energia

Os resultados obtidos pela produção de energia em cada edifício só poderão ter uma interpretação lógica, quando comparados com os consumos praticados pelos mesmos edifícios.

No Quadro 2.1 (Capítulo 2), estima-se que o consumo de energia eléctrica *per capita* praticado em Portugal seja na ordem dos 1359 kWh/habitante/ano. Daí resulta que, para cada edifício, as necessidades globais de energia eléctrica por ano serão:

Quadro 4.14 - Necessidades anuais de energia eléctrica por edifício

Edifício	Habitantes	Consumo <i>per capita</i> [kWh/hab/ano]	Necessidades globais de energia [kWh/ano]
Edifício1	34	1359	46206
Edifício2	20	1359	27180
Edifício3	26	1359	35334
Edifício4	30	1359	40770
Edifício5	24	1359	32616
Edifício6	24	1359	32616
Edifício7	30	1359	40770
Edifício8	34	1359	46206
Edifício9	34	1359	46206
Edifício10	32	1359	43488

Determinadas as necessidades globais de energia, é necessário compará-las com as produções possíveis em cada edifício para se conhecer até que ponto os painéis fotovoltaicos cumprem com as necessidades perante as limitações urbanísticas que têm vindo a ser debatidas ao longo do trabalho.

Quadro 4.15 - Necessidades e produções energéticas de cada edifício do quarteirão

Edifício	Necessidades anuais de energia ¹⁴ [kWh/ano]	Produções anuais de energia [kWh/ano]	Saldo energético (Produção - Necessidades) [kWh/ano]
Edifício1	46206	54049,34	7843,34
Edifício2	27180	32470,5	5290,5
Edifício3	35334	22559,58	-12774,42
Edifício4	40770	30787,78	-9982,22
Edifício5	32616	22356,91	-10259,09
Edifício6	32616	19207,17	-13408,83
Edifício7	40770	37996,14	-2773,86
Edifício8	46206	46943,5	737,5
Edifício9	46206	37553,13	-8652,87
Edifício10	43488	45940,82	2452,82

Analisando o Quadro 4.15, verificamos que 40% dos edifícios (contemplando cobertura e fachadas), conseguem uma produção de energia que supera as próprias necessidades. Este resultado era esperado, dada a excelente exposição solar de que dispõem os Edifícios 1, 2, 8 e 10, corroborando os resultados gráficos extraídos do *Ecotect*. Os restantes edifícios, devido a grandes limitações ao nível

¹⁴ Para o cálculo das Necessidades anuais de energia não foram consideradas as zonas comuns.

das áreas disponíveis (como consequência de uma débil orientação e do sombreamento causado pelos edifícios próximos) não apresentam resultados tão satisfatórios.

A ilustração gráfica trazida pela Figura 4.17 permite uma análise mais intuitiva dos valores apresentados.

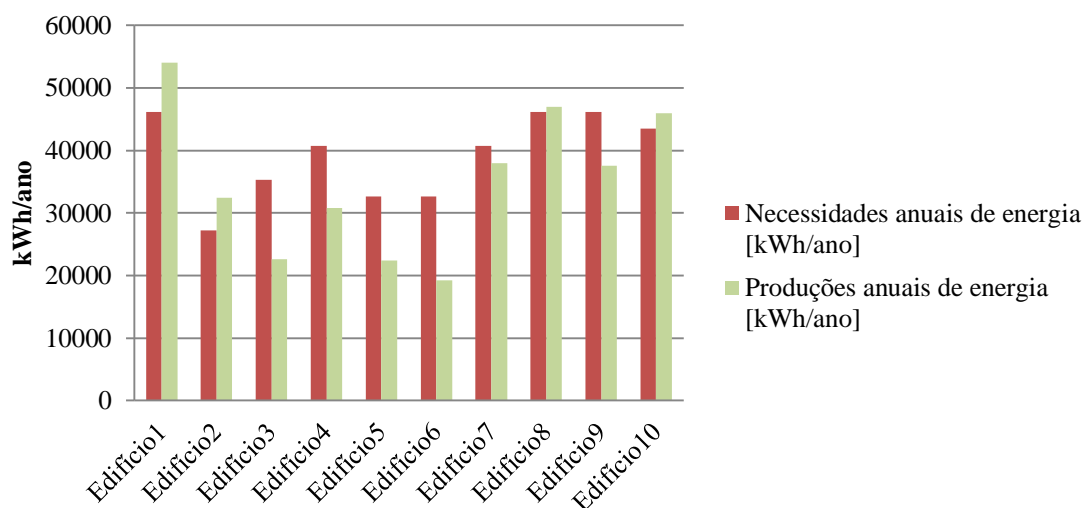


Fig. 4.17 - Necessidades e produções energéticas de cada edifício do quarteirão

Foi referido no Capítulo 3, a propósito de soluções para edifícios sujeitos a sombreamentos irreversíveis e/ou orientações menos favoráveis, a possibilidade da existência de uma “comunhão do quarteirão para a produção de energia”.

Olhando para a coluna “*Saldo energético (Produção - Necessidades) [kWh/ano]*” do Quadro 4.15, é possível verificar que juntado o excedente de produção de uns edifícios seria possível satisfazer o défice de outros. Então, se por exemplo se juntasse o excedente de produção energética do Edifício 1 (7843,34 kWh/ano) com o excedente do Edifício 2 (5290,5 kWh/ano), seria possível compensar o défice de produção face ao consumo do Edifício 3 (-12774,42 kWh/ano).

Poderia ainda juntar-se o excedente de produção do Edifício 8 (737,5 kWh/ano) com o excedente do Edifício 10 (2452,82 kWh/ano), para satisfazer o défice de produção do Edifício 7 (-2773,86 kWh/ano). Na Figura 4.18 é esquematizado o processo anteriormente relatado.

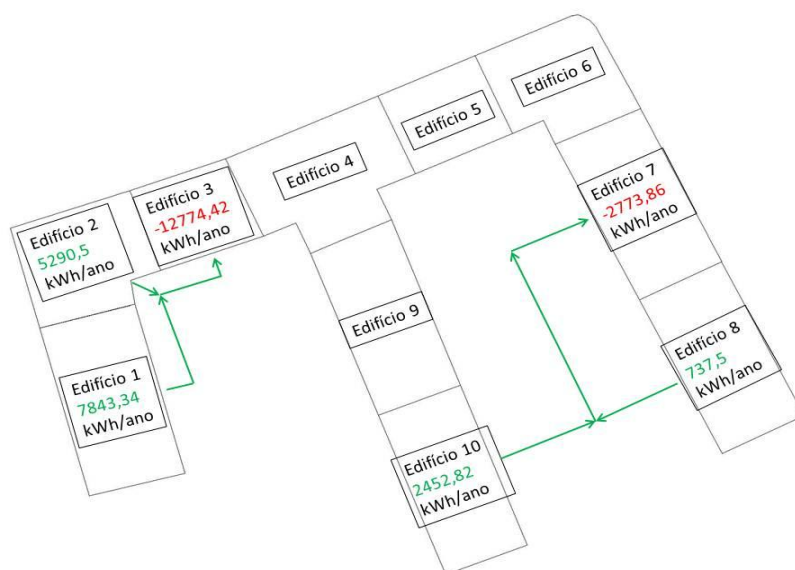


Fig. 4.18 - Comunhão do quarteirão para a produção de energia aplicado ao caso de estudo

Não sendo possível colmatar as necessidades energéticas de todos os edifícios, deixou-se cair esta possibilidade. Motivo pelo qual será explorada para efeitos de viabilidade económica, a filosofia de Microgeração.

4.4. Estudo da viabilidade económica

Adoptada a filosofia de Microgeração, para o caso de estudo, onde toda a energia produzida será vendida à rede pública, foram então realizados os orçamentos para cada edifício e a respectiva análise financeira do investimento, para estimar o retorno financeiro.

4.4.1. Sistema de Microgeração proposto

Para uma instalação destinada à Microgeração os equipamentos necessários são:

- Módulos fotovoltaicos;
- Estrutura de suporte;
- Inversor;
- Contador de venda;
- Cabos e equipamentos básicos de instalação.



Fig. 4.19 - Diagrama ilustrativo de uma instalação de microgeração [64]

A Figura 4.19 esquematiza as unidades de Microgeração propostas. Pode ver-se que estas serão equipadas com um conjunto de módulos fotovoltaicos, cujas potências de ligação à rede serão apresentadas nos próximos tópicos.

A conversão de energia e sincronização com a rede eléctrica é assegurada por inversores de elevada eficiência, que asseguram um dimensionamento coerente com as potências de ligação à rede necessárias para as respectivas unidades de Microgeração.

À saída para a rede será instalado um contador de energia que fará a contagem e envio de dados da energia produzida à entidade comercializadora, neste caso a EDP.

Uma nota digna de registo é o facto dos sistemas de produção e venda de energia se manterem autónomos do consumo, continuando a existir para o efeito o contador da energia consumida.

Uma última análise técnica às unidades de Microgeração a implementar, para dizer que todos os módulos serão instalados em locais com adequada exposição solar como de resto tem vindo a ser bem explícito ao longo deste capítulo. As orientações dos módulos serão sempre entre Sudeste (45°) < S < Sudoeste (45°), e a sua inclinação a rondar os 38° correspondentes à latitude de Beja.

4.4.2. Orçamentação do projecto

Para efeitos orçamentais, começou-se por averiguar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários tendo em conta as dimensões dos mesmos e a área disponível para instalação.

O Quadro 4.16, apresenta para cada edifício a área total (incluindo fachadas e coberturas) disponível para a instalação a realizar, indicando o número de módulos necessários. Pelo Quadro 4.13, pode induzir-se que tendo os módulos uma dimensão de 1639 x 982 mm então cada módulo totaliza uma área de aproximadamente 1,61 m².

Quadro 4.16 - Número de módulos instalados em cada Edifício

Edifício	Área total disponível [m ²]	Número de módulos considerados	Potência da Instalação de Microgeração [kWp]
Edifício 1	561,24	348	73,08
Edifício 2	296,09	183	38,43
Edifício 3	225,13	139	29,19
Edifício 4	201,12	124	26,04
Edifício 5	223,07	138	28,98
Edifício 6	125,47	77	16,17
Edifício 7	394,60	245	51,45
Edifício 8	388,40	241	50,61
Edifício 9	391,13	243	51,03
Edifício 10	491,79	305	64,05

Relativamente aos equipamentos escolhidos para as unidades de Microgeração respeitantes a cada edifício, visto que cada uma terá determinada potência de ligação à rede então será constituída também por um inversor que assegure as suas necessidades.

O próximo quadro apresenta os equipamentos necessários para as unidades de produção de energia fotovoltaica, assim como os respectivos preços unitários.

Quadro 4.17 - Equipamentos a instalar e respectivos preços

Equipamentos		Designação	Preço (Sem IVA)
Módulos Fotovoltaicos		Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un
Inversor	Edifício 1	Sunzet 75 TP T	9750 €/un
	Edifício 2	Sunzet 30 TP T	6990 €/un
	Edifício 3	Sunzet 25 TP T	6340 €/un
	Edifício 4	Sunzet 25 TP T	6340 €/un
	Edifício 5	Sunzet 25 TP T	6340 €/un
	Edifício 6	TripleLynx Pro + 15 kW	5530 €/un
	Edifício 7	Sunzet 50 TP T	7900 €/un
	Edifício 8	Sunzet 50 TP T	7900 €/un
	Edifício 9	Sunzet 50 TP T	7900 €/un
	Edifício 10	Sunzet 75 TP T	9750 €/un
Sistema de Contagem		Contador Siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un
Equipamento Básico de Instalação		Caixa de protecção AC	225 €/un
		Cabos AC e DC	300 € vg
Estrutura de Fixação		Sistema de fixação intersol	0.24 €/Wp

No Anexo VII apresentam-se detalhados os orçamentos para todas as unidades de Microgeração dos 10 Edifícios. Por forma a resumir os orçamentos apresentados nesse mesmo anexo,

poder-se-á verificar o Quadro 4.18 que indica os resultados finais dos orçamentos para cada unidade de Microgeração.

Quadro 4.18 - Investimento realizado em cada edifício

Edifício	Investimento (sem IVA)	Investimento (com IVA)
Edifício 1	104.987,04 €	129.134,06 €
Edifício 2	58.035,84 €	71.384,08 €
Edifício 3	45.618,72 €	56.111,03 €
Edifício 4	41.651,52 €	51.231,37 €
Edifício 5	45.354,24 €	55.785,72 €
Edifício 6	28.248,96 €	34.746,22 €
Edifício 7	75.525,6 €	92.896,49 €
Edifício 8	74.467,68 €	91.595,25 €
Edifício 9	74.996,64 €	92.245,87 €
Edifício 10	93.614,4 €	115.145,71 €

Como é lógico existe uma proporcionalidade entre o investimento e as áreas disponíveis para instalação de módulos fotovoltaicos (Figura 4.19), uma vez que o equipamento que mais peso tem no orçamento são os módulos fotovoltaicos (170€/un) e o seu valor está dependente da área disponível para instalação.

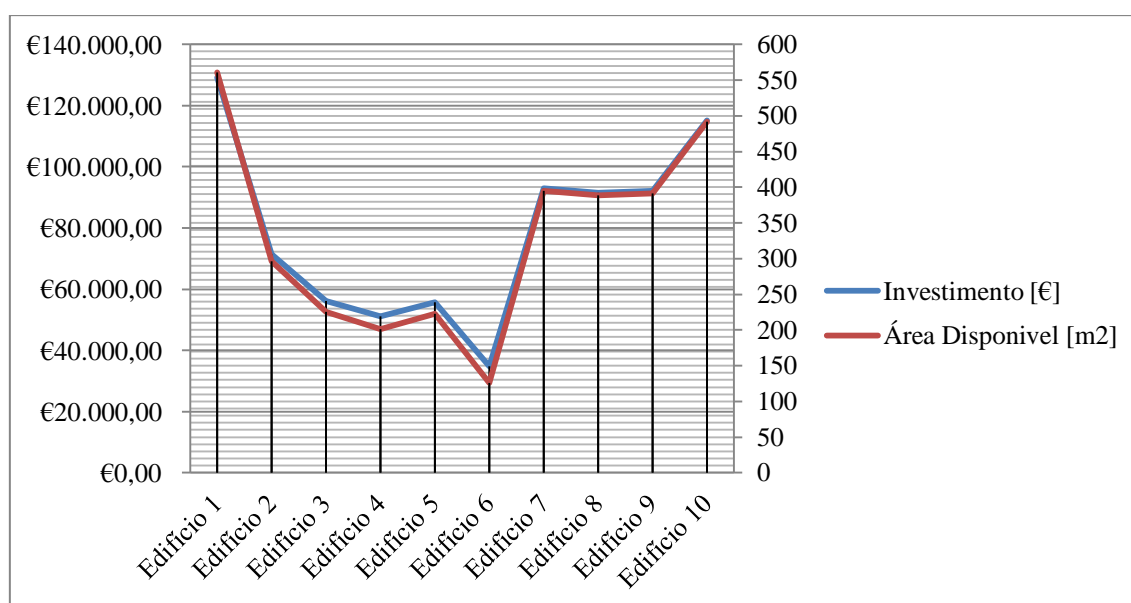


Fig. 4.20 - Relação entre o investimento e área disponível para cada edifício

4.4.3. Análise financeira do investimento

A análise financeira do investimento é um processo no qual, tendo em conta a energia produzida pelo sistema fotovoltaico escolhido, é feito o estudo do retorno do investimento, perante as tarifas de venda de energia à rede pública.

As condições de Microgeração propostas pela EDP encontram-se num cenário de transição onde, até este ano (2012) existia uma limitação para instalação em condomínios com potências de ligação até 11,04 kW. No entanto perante a decisão do governo para a liberalização das energias

renováveis deixará de existir essa restrição, podendo os condomínios ultrapassar esse limite máximo de ligação de 11,04 kW. O estudo em causa foi realizado de acordo com a liberalização prevista, até porque nenhum dos condomínios em análise apresentaria uma potência de ligação à rede inferior a 11,04 kW.

Relativamente às tarifas de venda propostas pela EDP, estas estão repartidas da seguinte forma:

Quadro 4.19 - Tarifa de venda de energia à EDP

Período	Tarifa de Venda
Primeiros 8 anos	0,326 €/kWh
Os 7 anos seguintes	0,185 €/kWh
A partir do 16º ano	Preço de Venda igual ao preço de compra

Relativamente á tarifa de compra, cada apartamento irá ter um contador independente uma vez que continuará a comprar energia de forma independente. Por apartamento a potência contratada é de 6,9 kVA e para as zonas comuns dos edifícios a potência contratada é de 3.45 kVA. Assim sendo os clientes estão sujeitos a tarifas BTN (Baixa Tensão Normal) até 20,7 kVA ficando assim sujeitos a um valor de 0.139 €/kWh.

Tendo em conta o período de vida útil dos painéis de 25 anos, com um decréscimo de produção de 0,8% por ano e ainda uma inflação anual de 3% da tarifa de compra, foram realizadas as análises financeiras dos investimentos para cada um dos edifícios em estudo, apresentadas nos quadros que se seguem:

Análise Financeira para o Edifício 1

Quadro 4.20 - Análise Financeira para o Edifício 1

Análise Financeira do Edifício 1					Investimento:	129134,1€
					Payback (anos)	7,5
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-129134,1		
1	54049,34	0,326	0,139	17620	17620	-111514
2	53616,95	0,326	0,143	17479	35099	-94035
3	53188,01	0,326	0,148	17339	52439	-76696
4	52762,51	0,326	0,152	17201	69639	-59495
5	52340,41	0,326	0,157	17063	86702	-42432
6	51921,68	0,326	0,161	16926	103629	-25506
7	51506,31	0,326	0,166	16791	120420	-8715
8	51094,26	0,326	0,171	16657	137076	7942
9	50685,50	0,185	0,176	9377	146453	17319
10	50280,02	0,185	0,182	9302	155755	26621
11	49877,78	0,185	0,187	9227	164982	35848
12	49478,76	0,185	0,193	9154	174136	45002
13	49082,93	0,185	0,199	9080	183216	54082
14	48690,26	0,185	0,205	9008	192224	63090
15	48300,74	0,185	0,211	8936	201160	72025
16	47914,34	0,217	0,217	10397	211557	82423
17	47531,02	0,224	0,224	10647	222204	93070
18	47150,77	0,230	0,230	10845	233049	103914
19	46773,57	0,237	0,237	11085	244134	115000
20	46399,38	0,244	0,244	11321	255455	126321
21	46028,18	0,252	0,252	11599	267054	137920
22	45659,96	0,259	0,259	11826	278880	149746
23	45294,68	0,267	0,267	12094	290974	161840
24	44932,32	0,275	0,275	12356	303330	174196
25	44572,86	0,283	0,283	12614	315945	186811

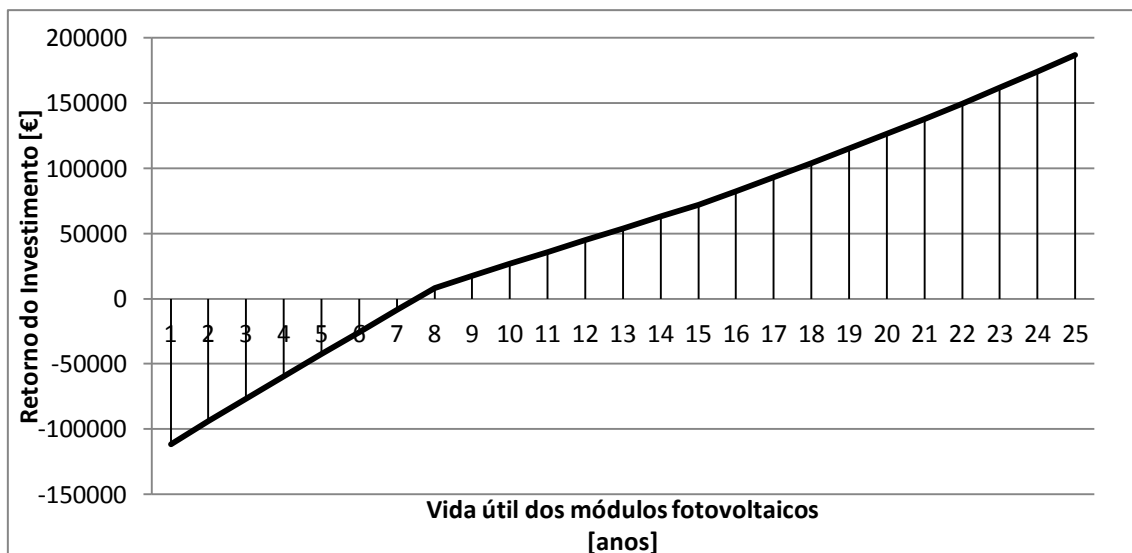


Fig. 4.21 - Retorno do Investimento para o Edifício 1

Analisando a Figura 4.21 e o Quadro 4.20 é possível verificar que para um investimento inicial de 129134,1€ e tendo por base a produção de energia já anteriormente calculada, o período de retorno do investimento é de 7,5 anos, a partir dos quais se começará a obter lucro, sendo que ao final dos 25 anos de vida útil dos módulos fotovoltaicos o lucro que se irá obter será 186811€. Como é lógico este valor não é uma certeza pois muitos factores externos poderão influenciar a produtividade do sistema. O Quadro 4.21 representa um resumo técnico-financeiro do sistema proposto para o Edifício 1.

Quadro 4.21 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 1

Potência Contratada Comercializador	86,25 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	73,08 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	75kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	54049,34 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 17620 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 1468 €
Receita média mensal estimada para cada apartamento	Aprox. 120 €

Análise Financeira para o Edifício 2

Quadro 4.22 - Análise Financeira para o Edifício 2

Análise Financeira do Edifício 2					Investimento:	71384,08 €
					Payback (anos):	6,9
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-71384		
1	32470,5	0,326	0,139	10585	10585	-60799
2	32210,7	0,326	0,143	10501	21086	-50298
3	31953,1	0,326	0,148	10417	31503	-39881
4	31697,4	0,326	0,152	10333	41836	-29548
5	31443,8	0,326	0,157	10251	52087	-19297
6	31192,3	0,326	0,161	10169	62256	-9128
7	30942,8	0,326	0,166	10087	72343	959
8	30695,2	0,326	0,171	10007	82349	10965
9	30449,7	0,185	0,176	5633	87983	16599
10	30206,1	0,185	0,182	5588	93571	22187
11	29964,4	0,185	0,187	5543	99114	27730
12	29724,7	0,185	0,193	5499	104613	33229
13	29486,9	0,185	0,199	5455	110068	38684
14	29251,0	0,185	0,205	5411	115480	44096
15	29017,0	0,185	0,211	5368	120848	49464
16	28784,9	0,217	0,217	6246	127094	55710
17	28554,6	0,224	0,224	6396	133490	62106
18	28326,1	0,230	0,230	6515	140005	68621
19	28099,5	0,237	0,237	6660	146665	75281
20	27874,7	0,244	0,244	6801	153467	82083
21	27651,7	0,252	0,252	6968	160435	89051
22	27430,5	0,259	0,259	7105	167539	96155
23	27211,1	0,267	0,267	7265	174805	103421
24	26993,4	0,275	0,275	7423	182228	110844
25	26777,4	0,283	0,283	7578	189806	118422

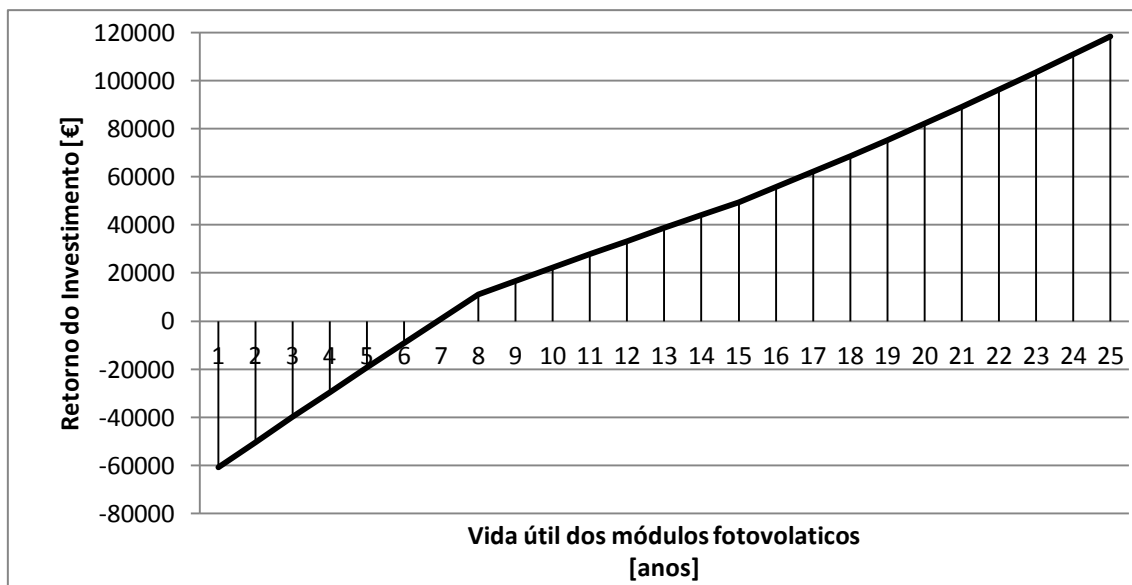


Fig. 4.22 - Retorno do Investimento para o Edifício 2

Relativamente ao Edifício 2, verifica-se para um investimento inicial 71384,08 €, o período de retorno da Microgeração será de 6,9 anos. Ao final dos 25 anos estima-se que o lucro total seja de 118422 €. O Quadro 4.23 apresenta então o resumo da instalação e receitas previstas para o Edifício 2.

Quadro 4.23 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 2

Potência Contratada Comercializador	58,65 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	38,43 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	30kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	32470,5 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 10585 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 882 €
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 110 €

Análise Financeira para o Edifício 3

Quadro 4.24 - Análise Financeira para o Edifício 3

Análise Financeira do Edifício 3					Investimento:	56111,03 €
					Payback (anos):	7,8
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-56111		
1	22559,58	0,326	0,139	7354	7354	-48757
2	22379,1	0,326	0,143	7296	14650	-41461
3	22200,1	0,326	0,148	7237	21887	-34224
4	22022,5	0,326	0,152	7179	29067	-27044
5	21846,3	0,326	0,157	7122	36188	-19923
6	21671,5	0,326	0,161	7065	43253	-12858
7	21498,1	0,326	0,166	7008	50262	-5849
8	21326,2	0,326	0,171	6952	57214	1103
9	21155,6	0,185	0,176	3914	61128	5017
10	20986,3	0,185	0,182	3882	65010	8899
11	20818,4	0,185	0,187	3851	68862	12751
12	20651,9	0,185	0,193	3821	72682	16571
13	20486,7	0,185	0,199	3790	76472	20361
14	20322,8	0,185	0,205	3760	80232	24121
15	20160,2	0,185	0,211	3730	83962	27851
16	19998,9	0,217	0,217	4340	88301	32190
17	19838,9	0,224	0,224	4444	92745	36634
18	19680,2	0,230	0,230	4526	97272	41161
19	19522,8	0,237	0,237	4627	101899	45788
20	19366,6	0,244	0,244	4725	106624	50513
21	19211,6	0,252	0,252	4841	111466	55355
22	19057,9	0,259	0,259	4936	116402	60291
23	18905,5	0,267	0,267	5048	121449	65338
24	18754,2	0,275	0,275	5157	126607	70496
25	18604,2	0,283	0,283	5265	131872	75761

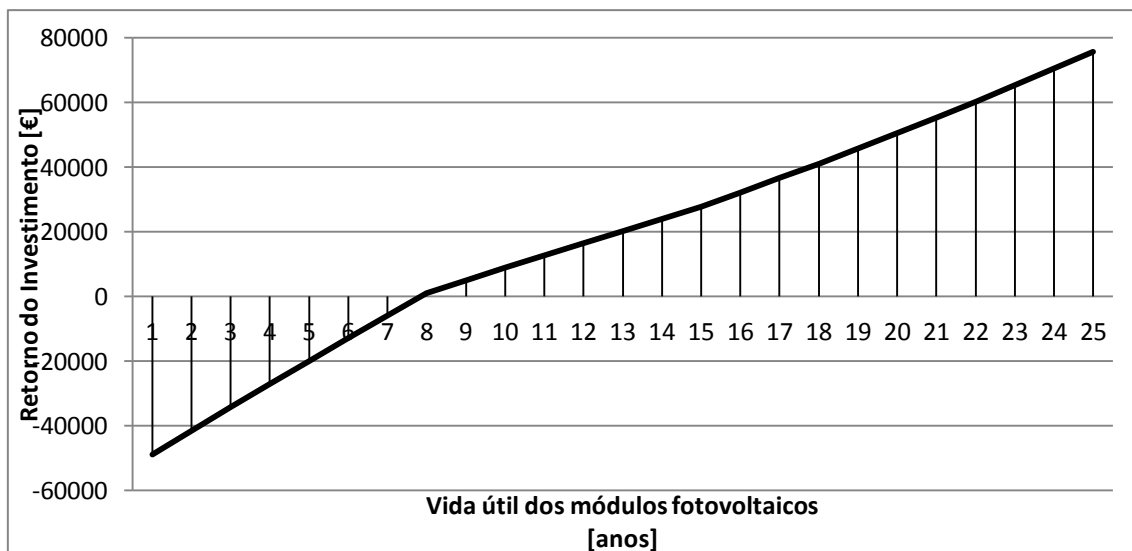


Fig. 4.23 - Retorno do Investimento para o Edifício 3

Como sugerem as ilustrações anteriores, o período de retorno do investimento feito para o Edifício 3 será de 7,8 anos, tendo esse investimento um valor inicial de 56111,03 €. No global da vida útil dos módulos fotovoltaicos o lucro do investimento será 75761€. Apresentam-se de seguida os resumos dos investimentos e respectivos lucros feitos para o Edifício 3.

Quadro 4.25 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 3

Potência Contratada Comercializador	72,45 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	29,19 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	25kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	22559,58 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 7354 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 612 €
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 61 €

Análise Financeira para o Edifício 4

Quadro 4.26 - Análise Financeira para o Edifício 4

Análise Financeira do Edifício 4					Investimento:	51231,37€
					Payback (anos):	5,2
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-51231		
1	30787,78	0,326	0,139	10037	10037	-41194
2	30541,5	0,326	0,143	9957	19993	-31238
3	30297,1	0,326	0,148	9877	29870	-21361
4	30054,8	0,326	0,152	9798	39668	-11563
5	29814,3	0,326	0,157	9719	49388	-1843
6	29575,8	0,326	0,161	9642	59029	7798
7	29339,2	0,326	0,166	9565	68594	17363
8	29104,5	0,326	0,171	9488	78082	26851
9	28871,7	0,185	0,176	5341	83423	32192
10	28640,7	0,185	0,182	5299	88722	37491
11	28411,6	0,185	0,187	5256	93978	42747
12	28184,3	0,185	0,193	5214	99192	47961
13	27958,8	0,185	0,199	5172	104364	53133
14	27735,1	0,185	0,205	5131	109495	58264
15	27513,2	0,185	0,211	5090	114585	63354
16	27293,1	0,217	0,217	5923	120508	69277
17	27074,8	0,224	0,224	6065	126573	75342
18	26858,2	0,230	0,230	6177	132750	81519
19	26643,3	0,237	0,237	6314	139064	87833
20	26430,2	0,244	0,244	6449	145513	94282
21	26218,7	0,252	0,252	6607	152121	100890
22	26009,0	0,259	0,259	6736	158857	107626
23	25800,9	0,267	0,267	6889	165746	114515
24	25594,5	0,275	0,275	7038	172784	121553
25	25389,8	0,283	0,283	7185	179970	128739

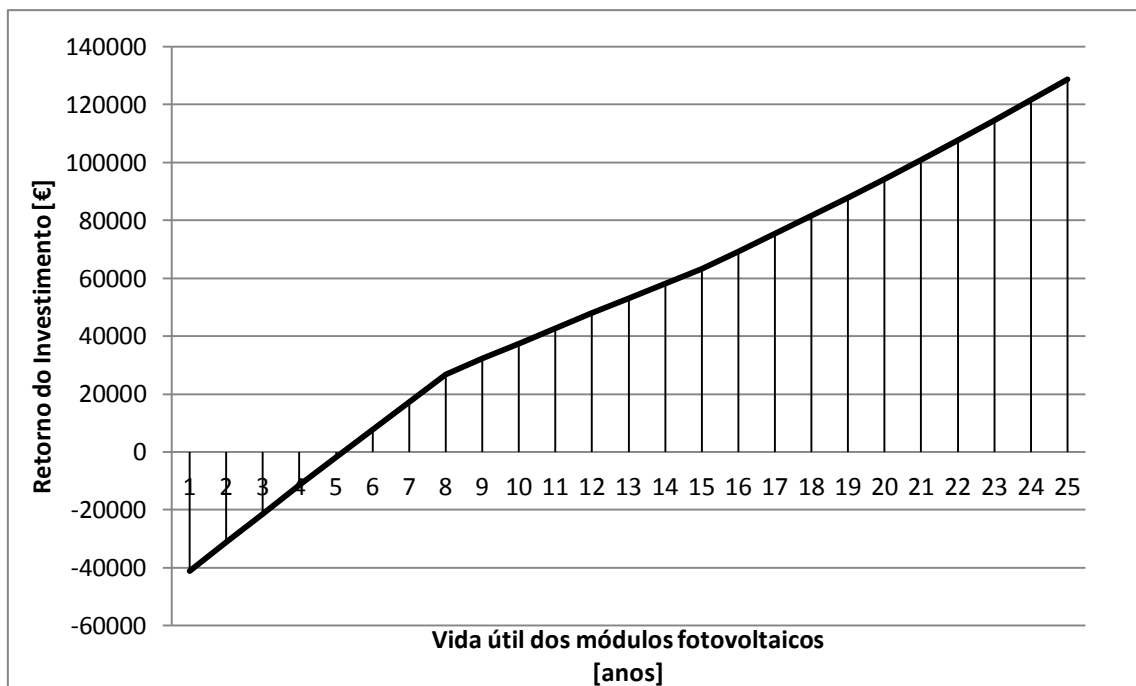


Fig. 4.24 - Retorno do Investimento para o Edifício 4

O investimento de 51231,37€ feito no Edifício 4 tem então previsto um retorno de 5,2 anos. Ao final dos 25 anos de vida útil prevê-se que o lucro total do investimento seja de 128739€. O Quadro 4.27 faz então síntese do investimento e retorno feito para este edifício.

Quadro 4.27 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 4

Potência Contratada Comercializador	79,35 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	26,04 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	30kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	30787,78 kWh
Receita anual estimada	Aprox. 10037 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 836 €
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 76 €

Análise Financeira para o Edifício 5

Quadro 4.28 - Análise Financeira para o Edifício 5

Análise Financeira do Edifício 5					Investimento:	55785,72 €
					Payback (anos):	7,9
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-55786		
1	22356,91	0,326	0,139	7288	7288	-48498
2	22178,1	0,326	0,143	7230	14518	-41268
3	22000,6	0,326	0,148	7172	21691	-34095
4	21824,6	0,326	0,152	7115	28805	-26981
5	21650,0	0,326	0,157	7058	35863	-19923
6	21476,8	0,326	0,161	7001	42865	-12921
7	21305,0	0,326	0,166	6945	49810	-5976
8	21134,6	0,326	0,171	6890	56700	914
9	20965,5	0,185	0,176	3879	60579	4793
10	20797,8	0,185	0,182	3848	64426	8640
11	20631,4	0,185	0,187	3817	68243	12457
12	20466,3	0,185	0,193	3786	72029	16243
13	20302,6	0,185	0,199	3756	75785	19999
14	20140,2	0,185	0,205	3726	79511	23725
15	19979,1	0,185	0,211	3696	83207	27421
16	19819,2	0,217	0,217	4301	87508	31722
17	19660,7	0,224	0,224	4404	91912	36126
18	19503,4	0,230	0,230	4486	96398	40612
19	19347,4	0,237	0,237	4585	100983	45197
20	19192,6	0,244	0,244	4683	105666	49880
21	19039,0	0,252	0,252	4798	110464	54678
22	18886,7	0,259	0,259	4892	115356	59570
23	18735,6	0,267	0,267	5002	120358	64572
24	18585,8	0,275	0,275	5111	125469	69683
25	18437,1	0,283	0,283	5218	130687	74901

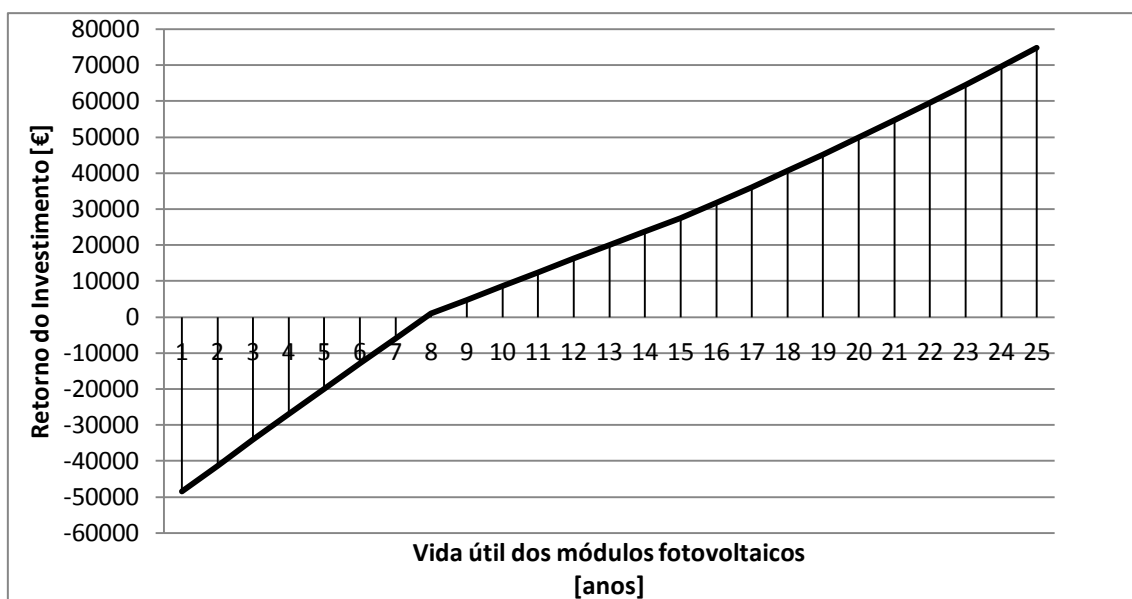


Fig. 4.25 - Retorno do Investimento para o Edifício 5

Analisando os resultados obtidos da análise financeira para o Edifício 5, verifica-se que o período de retorno para um investimento de 55785,72 € será de 7,9 anos. O retorno total para os 25 anos de vida útil dos módulos fotovoltaicos 74901 €. Resumidamente relativamente ao investimento da unidade de Microgeração instalada, apresenta-se o seguinte quadro:

Quadro 4.29 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 5

Potência Contratada Comercializador	58,65 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	28,98 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	25 kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	22356,91 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 7288 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 607 €
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 75 €

Análise Financeira para o Edifício 6

Quadro 4.30 - Análise Financeira para o Edifício 6

Análise Financeira do Edifício 6					Investimento:	34746,22 €
					Payback (anos):	5,7
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-34746		
1	19207,17	0,326	0,139	6262	6262	-28484
2	19053,5	0,326	0,143	6211	12473	-22273
3	18901,1	0,326	0,148	6162	18635	-16111
4	18749,9	0,326	0,152	6112	24747	-9999
5	18599,9	0,326	0,157	6064	30811	-3935
6	18451,1	0,326	0,161	6015	36826	2080
7	18303,5	0,326	0,166	5967	42793	8047
8	18157,0	0,326	0,171	5919	48712	13966
9	18011,8	0,185	0,176	3332	52044	17298
10	17867,7	0,185	0,182	3306	55350	20604
11	17724,7	0,185	0,187	3279	58629	23883
12	17583,0	0,185	0,193	3253	61882	27136
13	17442,3	0,185	0,199	3227	65108	30362
14	17302,7	0,185	0,205	3201	68309	33563
15	17164,3	0,185	0,211	3175	71485	36739
16	17027,0	0,217	0,217	3695	75180	40434
17	16890,8	0,224	0,224	3784	78963	44217
18	16755,7	0,230	0,230	3854	82817	48071
19	16621,6	0,237	0,237	3939	86756	52010
20	16488,7	0,244	0,244	4023	90780	56034
21	16356,7	0,252	0,252	4122	94901	60155
22	16225,9	0,259	0,259	4203	99104	64358
23	16096,1	0,267	0,267	4298	103402	68656
24	15967,3	0,275	0,275	4391	107793	73047
25	15839,6	0,283	0,283	4483	112275	77529

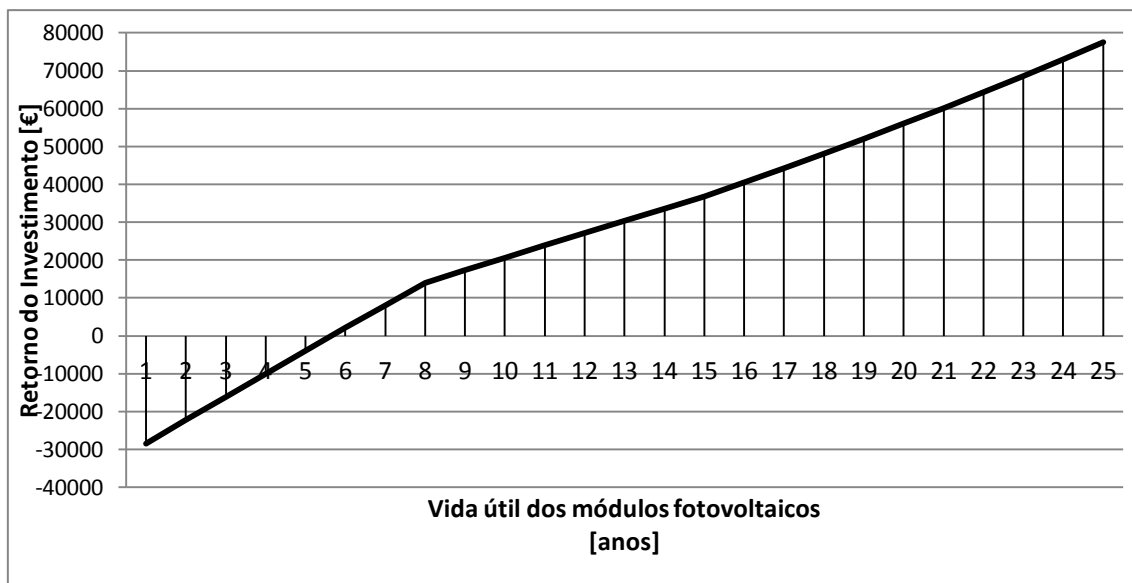


Fig. 4.26 - Retorno do Investimento para o Edifício 6

Pela análise dos dados acima apresentados, verificamos que no caso do Edifício 6 o período de retorno do investimento (34746,22 €) é de 5,7 anos. Relativamente ao retorno global dos 25 anos de vida útil do equipamento de Microgeração contabilizam-se 77529€. Veja-se o quadro que se segue, que detalha a informação do investimento em causa.

Quadro 4.31 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 6

Potência Contratada Comercializador	58,65 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	16,17 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	15kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	19207,17 kWh/ano
Receita anual estimada	6.262 €
Receita média mensal estimada	521 €
Receita média mensal estimada por apartamento	65 €

Análise Financeira para o Edifício 7

Quadro 4.32 - Análise Financeira para o Edifício 7

Análise Financeira do Edifício 7					Investimento:	92896,49 €
					Payback (anos):	7,7
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-92897		
1	37996,14	0,326	0,139	12387	12387	-80510
2	37692,2	0,326	0,143	12288	24674	-68223
3	37390,6	0,326	0,148	12189	36864	-56033
4	37091,5	0,326	0,152	12092	48956	-43941
5	36794,8	0,326	0,157	11995	60951	-31946
6	36500,4	0,326	0,161	11899	72850	-20047
7	36208,4	0,326	0,166	11804	84654	-8243
8	35918,7	0,326	0,171	11710	96363	3466
9	35631,4	0,185	0,176	6592	102955	10058
10	35346,3	0,185	0,182	6539	109494	16597
11	35063,6	0,185	0,187	6487	115981	23084
12	34783,1	0,185	0,193	6435	122416	29519
13	34504,8	0,185	0,199	6383	128799	35902
14	34228,8	0,185	0,205	6332	135131	42234
15	33954,9	0,185	0,211	6282	141413	48516
16	33683,3	0,217	0,217	7309	148722	55825
17	33413,8	0,224	0,224	7485	156207	63310
18	33146,5	0,230	0,230	7624	163831	70934
19	32881,3	0,237	0,237	7793	171624	78727
20	32618,3	0,244	0,244	7959	179583	86686
21	32357,3	0,252	0,252	8154	187737	94840
22	32098,5	0,259	0,259	8314	196050	103153
23	31841,7	0,267	0,267	8502	204552	111655
24	31587,0	0,275	0,275	8686	213238	120341
25	31334,3	0,283	0,283	8868	222106	129209

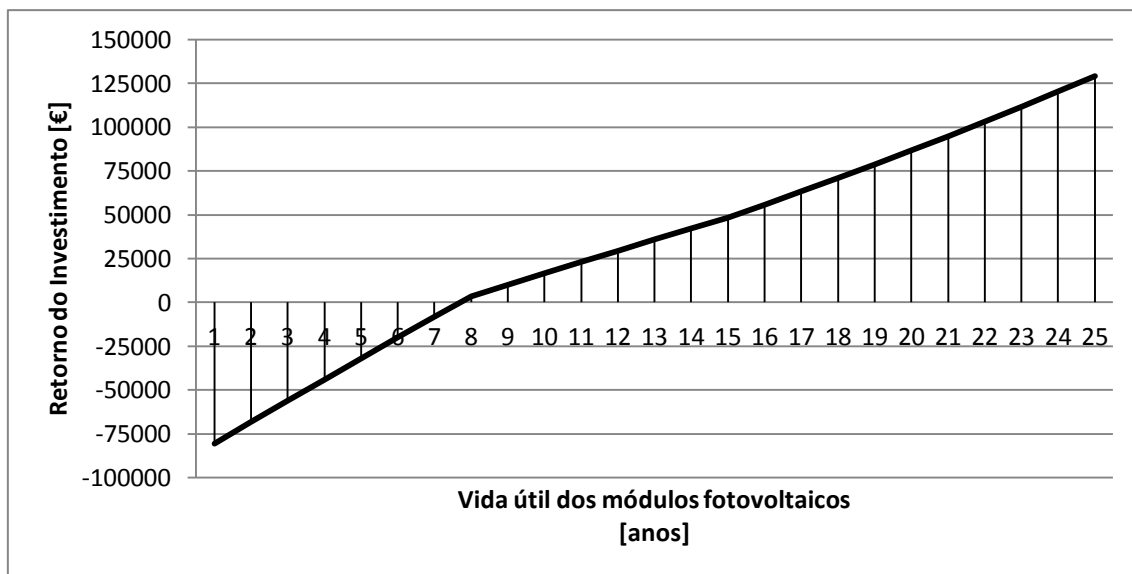


Fig. 4.27 - Retorno do Investimento para o Edifício 7

Quanto ao Edifício 7, como já foi visto o investimento feito para a instalação da unidade de Microgeração é de 92896,49 €, e perante as tarifas de venda apresentadas, o retorno acontece a partir dos 7,7 anos. O lucro financeiro atingido ao fim dos 25 anos analisados será de 129209 €. Mais uma vez, apresenta-se um sumário para o investimento previsto para o Edifício 7.

Quadro 4.33 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 7

Potência Contratada Comercializador	58,65 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	51,45 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	50 kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	37996,14 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 12387
Receita média mensal estimada	Aprox. 1032
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 129 €

Análise Financeira para o Edifício 8

Quadro 4.34 - Análise Financeira para o Edifício 8

Análise Financeira do Edifício 8					Investimento:	91595,25 €
					Payback (anos):	6,1
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-91595		
1	46943,5	0,326	0,139	15304	15304	-76291
2	46568,0	0,326	0,143	15181	30485	-61110
3	46195,4	0,326	0,148	15060	45544	-46051
4	45825,8	0,326	0,152	14939	60484	-31111
5	45459,2	0,326	0,157	14820	75303	-16292
6	45095,6	0,326	0,161	14701	90005	-1590
7	44734,8	0,326	0,166	14584	104588	12993
8	44376,9	0,326	0,171	14467	119055	27460
9	44021,9	0,185	0,176	8144	127199	35604
10	43669,7	0,185	0,182	8079	135278	43683
11	43320,4	0,185	0,187	8014	143292	51697
12	42973,8	0,185	0,193	7950	151242	59647
13	42630,0	0,185	0,199	7887	159129	67534
14	42289,0	0,185	0,205	7823	166952	75357
15	41950,7	0,185	0,211	7761	174713	83118
16	41615,1	0,217	0,217	9030	183744	92149
17	41282,1	0,224	0,224	9247	192991	101396
18	40951,9	0,230	0,230	9419	202410	110815
19	40624,3	0,237	0,237	9628	212038	120443
20	40299,3	0,244	0,244	9833	221871	130276
21	39976,9	0,252	0,252	10074	231945	140350
22	39657,1	0,259	0,259	10271	242216	150621
23	39339,8	0,267	0,267	10504	252720	161125
24	39025,1	0,275	0,275	10732	263452	171857
25	38712,9	0,283	0,283	10956	274408	182813

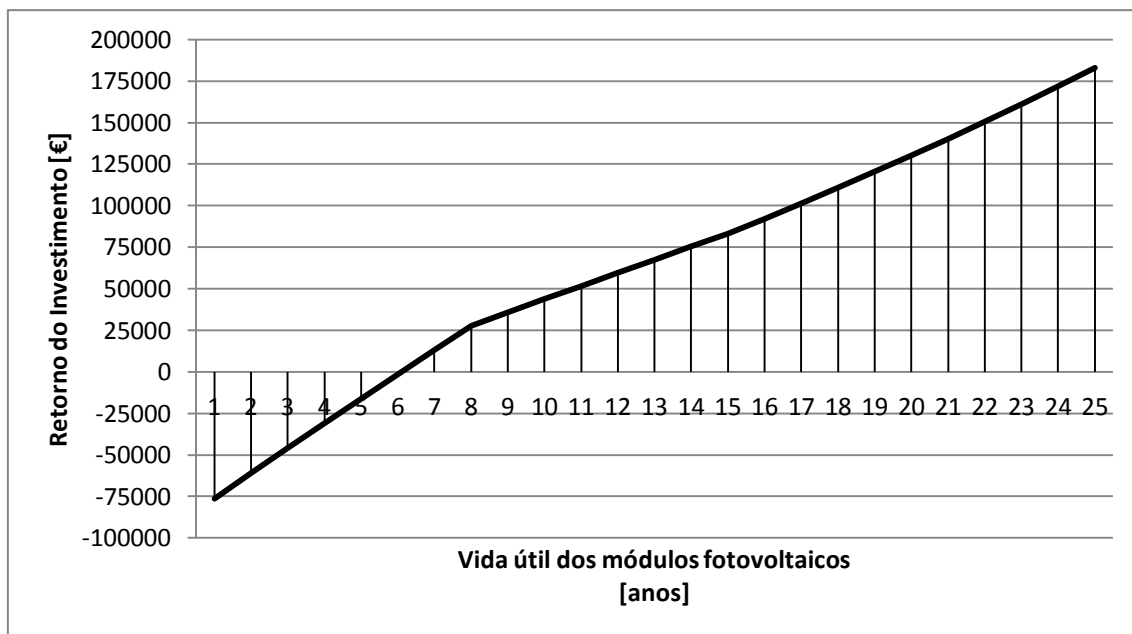


Fig. 4.28 - Retorno do Investimento para o Edifício 8

Para o Edifício 8, que apresenta um investimento inicial de 91595,25 €, o seu período de retorno será de aproximadamente 6,1 anos. Ao fim da vida útil das instalações o saldo global do investimento será de 182813 €. Vejamos o resumo de investimento, seguidamente tabelado:

Quadro 4.35 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 8

Potência Contratada Comercializador	86,25 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	50,61 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	50 kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	46943,5 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 15304 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 1275 €
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 106 €

Análise Financeira para o Edifício 9

Quadro 4.36 - Análise Financeira para o Edifício 9

Análise Financeira do Edifício 9					Investimento:	92245,87 €
					Payback (anos):	7,7
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-92246		
1	37553,13	0,326	0,139	12242	12242	-80004
2	37252,7	0,326	0,143	12144	24387	-67859
3	36954,7	0,326	0,148	12047	36434	-55812
4	36659,0	0,326	0,152	11951	48385	-43861
5	36365,8	0,326	0,157	11855	60240	-32006
6	36074,8	0,326	0,161	11760	72000	-20246
7	35786,2	0,326	0,166	11666	83667	-8579
8	35500,0	0,326	0,171	11573	95240	2994
9	35216,0	0,185	0,176	6515	101755	9509
10	34934,2	0,185	0,182	6463	108218	15972
11	34654,8	0,185	0,187	6411	114629	22383
12	34377,5	0,185	0,193	6360	120988	28742
13	34102,5	0,185	0,199	6309	127297	35051
14	33829,7	0,185	0,205	6258	133556	41310
15	33559,0	0,185	0,211	6208	139764	47518
16	33290,6	0,217	0,217	7224	146988	54742
17	33024,2	0,224	0,224	7397	154386	62140
18	32760,1	0,230	0,230	7535	161921	69675
19	32498,0	0,237	0,237	7702	169623	77377
20	32238,0	0,244	0,244	7866	177489	85243
21	31980,1	0,252	0,252	8059	185548	93302
22	31724,2	0,259	0,259	8217	193764	101518
23	31470,4	0,267	0,267	8403	202167	109921
24	31218,7	0,275	0,275	8585	210752	118506
25	30968,9	0,283	0,283	8764	219516	127270

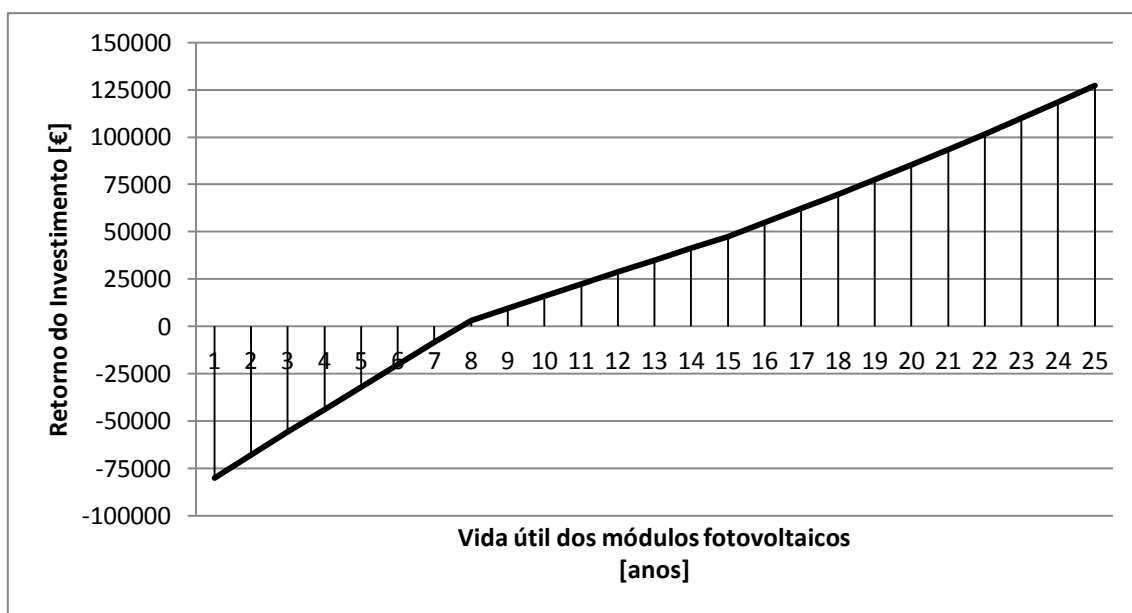


Fig. 4.29 - Retorno do Investimento para o Edifício 9

O Edifício 9, com um investimento financeiro de 92245,87 €, apresenta um retorno ao fim de 7,7 anos. No global dos 25 anos o investimento totalizará um retorno de 127270 €. Mais uma vez olhemos para o resumo técnico-financeiro aplicado ao Edifício 9:

Quadro 4.37 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 9

Potência Contratada Comercializador	86,25 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	51,03 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	50 kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	37553,13 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 12242 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 1020 €
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 85 €

Quadro 4.38 – Análise Financeira para o Edifício 10

Análise Financeira do Edifício 10					Investimento:	115145,7 €
					Payback (anos):	7,9
Ano	Energia produzida [kWh/ ano]	Tarifa de venda [€/kWh]	Tarifa de compra [€/kWh]	Fluxo de caixa [€]	Vendas acumuladas [€]	Retorno do Investimento [€]
0				-115146		
1	45940,82	0,326	0,139	14977	14977	-100169
2	45573,3	0,326	0,143	14857	29834	-85312
3	45208,7	0,326	0,148	14738	44572	-70574
4	44847,0	0,326	0,152	14620	59192	-55954
5	44488,3	0,326	0,157	14503	73695	-41451
6	44132,4	0,326	0,161	14387	88082	-27064
7	43779,3	0,326	0,166	14272	102354	-12792
8	43429,1	0,326	0,171	14158	116512	1366
9	43081,6	0,185	0,176	7970	124482	9336
10	42737,0	0,185	0,182	7906	132388	17242
11	42395,1	0,185	0,187	7843	140232	25086
12	42055,9	0,185	0,193	7780	148012	32866
13	41719,5	0,185	0,199	7718	155730	40584
14	41385,7	0,185	0,205	7656	163386	48240
15	41054,6	0,185	0,211	7595	170981	55835
16	40726,2	0,217	0,217	8838	179819	64673
17	40400,4	0,224	0,224	9050	188869	73723
18	40077,2	0,230	0,230	9218	198086	82940
19	39756,6	0,237	0,237	9422	207509	92363
20	39438,5	0,244	0,244	9623	217132	101986
21	39123,0	0,252	0,252	9859	226991	111845
22	38810,0	0,259	0,259	10052	237043	121897
23	38499,5	0,267	0,267	10279	247322	132176
24	38191,5	0,275	0,275	10503	257825	142679
25	37886,0	0,283	0,283	10722	268546	153400

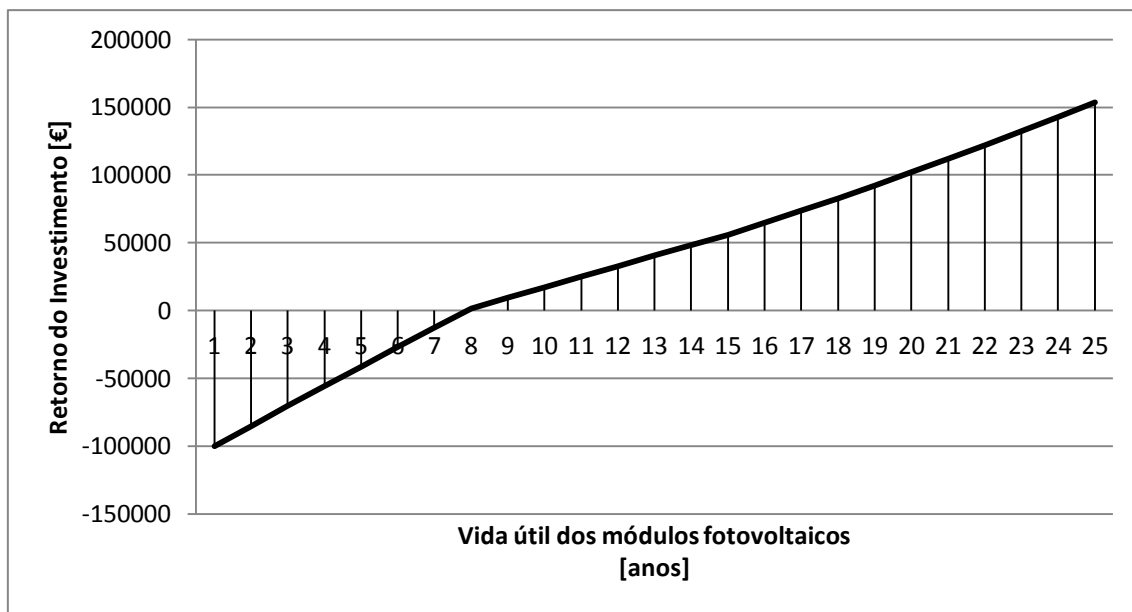


Fig. 4.30 - Retorno do Investimento para o Edifício 10

Finalmente, para o Edifício 10, que apresenta um investimento que ronda os 115145,7 €, o período de retorno do investimento irá acontecer aos 7,9 anos, sendo que aos 25 anos o lucro total será de 153400 €. Para resumir o investimento e as receitas inerentes ao Edifício 10, veja-se o seguinte quadro:

Quadro 4.39 - Resumo técnico-financeiro para o Edifício 10

Potência Contratada Comercializador	58,65 kVA
Potência da Instalação de Microgeração (Módulos FV)	64,05 kWp
Potência da Instalação de Microgeração (Inversor)	75 kW
Tarifa venda de referência para 2012 (8 anos)	0,326 €/kWh
Tarifa venda de referência para 2012 (7 anos seguintes)	0,185 €/kWh
Produção anual estimada	45940,82 kWh/ano
Receita anual estimada	Aprox. 14977 €
Receita média mensal estimada	Aprox. 1248 €
Receita média mensal estimada por apartamento	Aprox. 156 €

Análise Financeira Comparativa

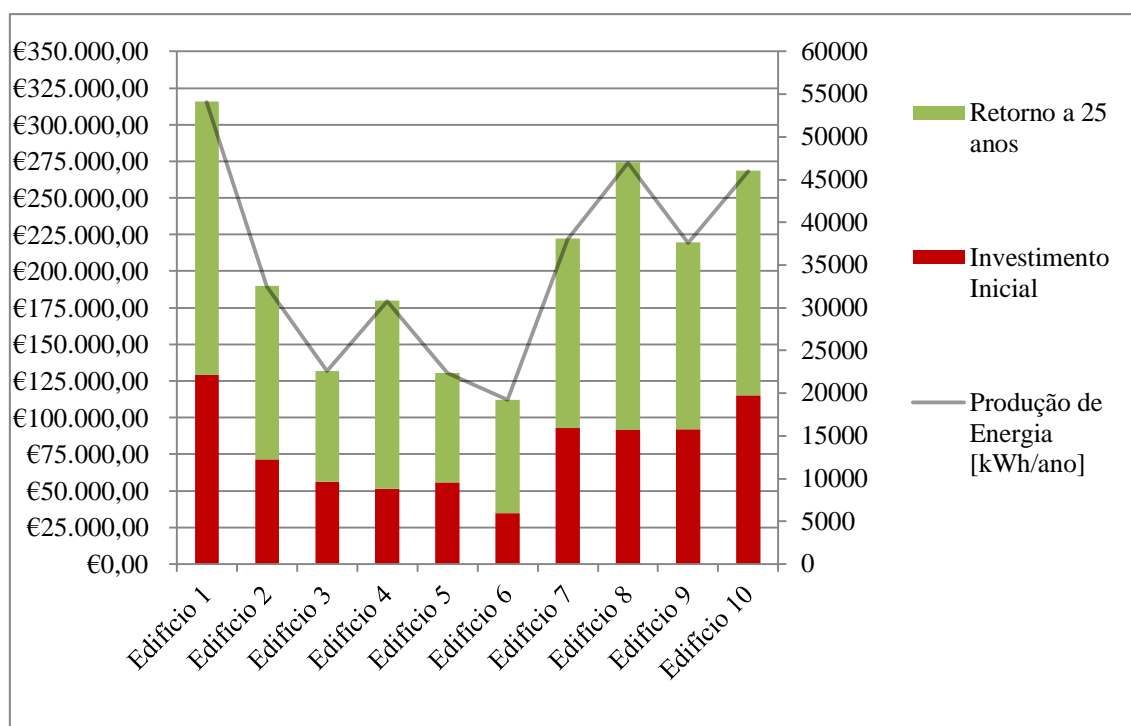
Uma vez estudada a viabilidade económica dos investimentos feitos nas unidades de Microgeração, pode agora ser feita uma comparação geral entre todos os edifícios relativamente ao investimento feito e ao retorno associado aos 25 anos de vida útil dos painéis.

Apresenta-se de seguida um quadro que representa a análise de Custo / Benefício para cada edifício comparando ainda a produção de energia a ele associado.

Quadro 4.40 - Análise de Custo / Benefício para cada edifício

Edifício	Investimento Inicial	Retorno do Investimento aos 25 anos	Produções anuais de energia [kWh/ano]
Edifício 1	129.134,06 €	186.811 €	54049,34
Edifício 2	71.384,08 €	118.422 €	32470,5
Edifício 3	56.111,03 €	75.761 €	22559,58
Edifício 4	51.231,37 €	128.739 €	30787,78
Edifício 5	55.785,72 €	74.901 €	22356,91
Edifício 6	34.746,22 €	77.529 €	19207,17
Edifício 7	92.896,49 €	129.209 €	37996,14
Edifício 8	91.595,25 €	182.813 €	46943,5
Edifício 9	92.245,87 €	127.270 €	37553,13
Edifício 10	115.145,71 €	153.400 €	45940,82

Segue-se a mesma análise mas de forma gráfica para uma interpretação mais intuitiva:

**Fig. 4.31 - Análise de Custo / Benefício para cada edifício**

Existe, como se pode ver, uma clara ligação entre: a energia que produz cada edifício, o seu investimento inicial e o respectivo retorno. Como já foi dito os módulos fotovoltaicos são os equipamentos que mais condicionam o orçamento da unidade de Microgeração, daí a sua ligação com o investimento inicial. Quanto maior o investimento em módulos fotovoltaicos, maior será a sua produção de energia pelo que maior será também o seu retorno de investimento.

Uma vez que se tratam de condomínios, seria interessante analisar o custo e o benefício que irão recair sobre cada apartamento. O quadro e figura que se seguem ilustram precisamente a mesma análise de custo benefício, mas agora por apartamento para cada um dos 10 edifícios.

Quadro 4.41 - Análise de Custo / Benefício por apartamento em cada edifício

Edifício	Investimento por apartamento	Retorno do Investimento aos 25 anos por apartamento
Edifício 1	10.761,17 €	15.568 €
Edifício 2	8.923,01 €	14.803 €
Edifício 3	5.611,10 €	7.576 €
Edifício 4	4.657,40 €	11.704 €
Edifício 5	6.973,22 €	9.363 €
Edifício 6	4.343,28 €	9.691 €
Edifício 7	11.612,06 €	16.151 €
Edifício 8	7.632,94 €	15.234 €
Edifício 9	7.687,16 €	10.606 €
Edifício 10	14.393,21 €	19.175 €

Mais uma vez, para facilitar a análise do quadro, apresentam-se graficamente os resultados:

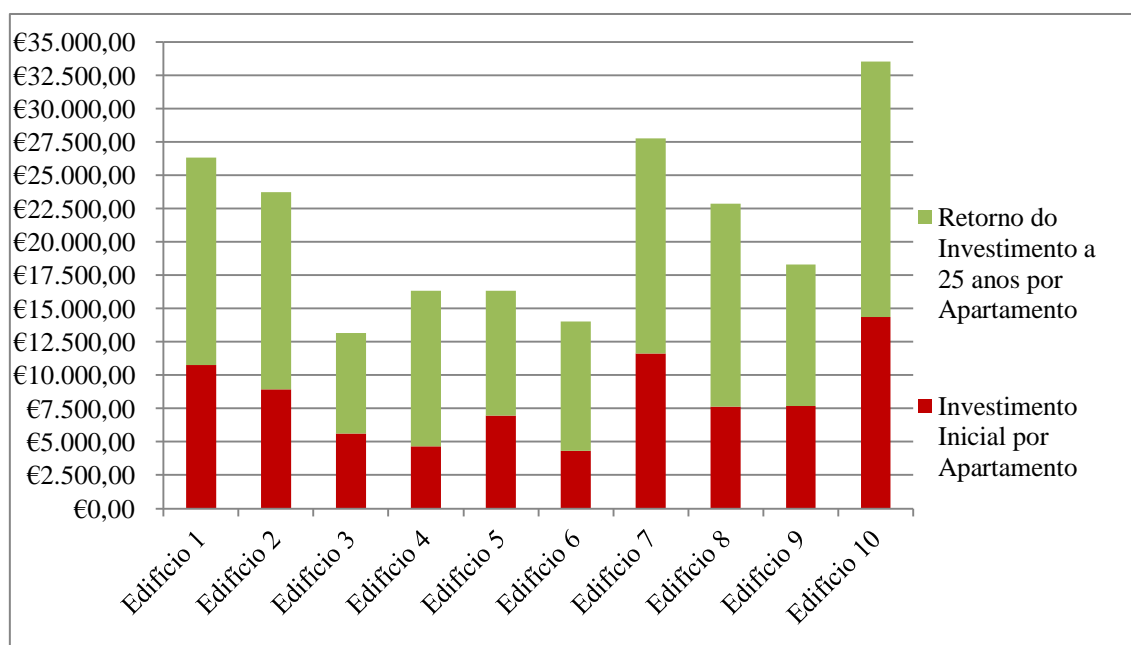


Fig. 4.32 - Análise de Custo / Benefício por apartamento em cada edifício

Verifica-se que o número de ocupantes veio alterar o cenário que se havia verificado para os edifícios no global. Sendo que para o estudo apenas dos condomínios, o Edifício 1 liderava o retorno de investimento, no entanto quando ponderado pelos habitantes dos edifícios, o Edifício 10 passou a liderar. No entanto o investimento para cada apartamento do Edifício 10 como é óbvio também

aumentou dado que este edifício apresenta menos quatro apartamentos que o Edifício 1 e por conseguinte menos pessoas para repartir a despesa.

4.5. Discussão dos resultados

Foram discutidos no tópico 4.3 os resultados ao nível de produção energética, tendo-se verificado que quer se considere a produção individualizada quer colectiva de energia, não seriam necessários esses níveis de produção para fazer face aos consumos perspectivados.

Perante estas evidências, a filosofia mais proveitosa para a produção de energia seria então a Microgeração, em que seria vendida à rede pública toda a energia produzida mediante os regimes remuneratórios existentes.

Esses regimes são faseados em três períodos:

- 0,326 €/kWh para os primeiros 8 anos
- 0,185 €/kWh para os 7 anos seguintes
- Preço de venda igual ao preço de compra a partir do 16º ano

Tendo em conta o regime remuneratório supracitado, foi então possível realizar as análises financeiras para os investimentos efectuados em cada unidade de Microgeração. Essa análise tem por base alguns pressupostos como: consideração da vida útil das unidades de Microgeração de 25 anos, um decréscimo de produção de 0,8% por ano e ainda uma inflação de 3% ao ano da tarifa de compra.

Os resultados relativos a este estudo são inequívocos, existe garantidamente um retorno financeiro. Inclusive analisando os volumes financeiros subjacentes aos investimentos em causa, poder-se-á dizer que os períodos de retorno são atractivos, como se pode observar no Quadro 4.42.

Quadro 4.42 - Período de retorno dos investimentos em Microgeração

Edifício	Período para liquidar o investimento [anos]
Edifício1	7,5
Edifício2	6,9
Edifício3	7,8
Edifício4	5,2
Edifício5	7,9
Edifício6	5,7
Edifício7	7,7
Edifício8	6,1
Edifício9	7,7
Edifício10	7,9

No tópico anterior foram apresentados os resultados financeiros por apartamento. A título de curiosidade, apresentam-se seguidamente os gastos actuais com a energia eléctrica por apartamento e os retornos associados às unidades de Microgeração (por apartamento também), tendo por base que o

consumo de energia eléctrica *per capita* é de 1359 kWh /ano, para que possa ser analisada a percentagem de liquidação da factura energética durante dos 25 anos correspondentes à análise financeira realizada.

Quadro 4.43 - Liquidação da factura energética a 25 anos

Edifícios	Retorno do Investimento por apartamento (25 anos)	Despesa energética por apartamento (25 anos)	Percentagem de liquidação da factura energética a 25 anos
Edifício1	15568 €	13380,48 €	116,35 %
Edifício2	14803 €	11806,31 €	125,38 %
Edifício3	7576 €	12278,56 €	61,7%
Edifício4	11704 €	12879,61 €	90,87%
Edifício5	9363 €	14167,57 €	66,08%
Edifício6	9691 €	14167,57 €	68,40%
Edifício7	16151 €	17709,46 €	91,2%
Edifício8	15234 €	13380,48 €	113,85 %
Edifício9	10606 €	13380,48 €	79,26%
Edifício10	19175 €	18890,1 €	101,5%

A estimativa apresentada sugere que em média as unidades de Microgeração projectadas para o quarteirão estudado pagam 91,46%, da factura energética a 25 anos, sendo que 40% dos edifícios apresentam lucro extra mesmo descontando a energia que continua a ser comprada à EDP.

Os resultados são peremptórios na medida em que há sempre lucro subjacente aos projectos analisados, serão no entanto suficientes para convencer os consumidores? É uma questão que dependerá das condições financeiras de cada família, mas que no entanto com alguns incentivos governamentais, dadas as exigências energéticas a que presentemente a grande maioria dos países estão sujeitos, poderia deixar de ser uma questão pertinente. A balança económica que presentemente se está a discutir contará sempre com o peso extra – o peso dos factores ecológicos e ambientais, que jamais poderão ser ignorados.

5. CONCLUSÕES

5.1. Conclusão

Perante o acentuado fenómeno de urbanização, que se verificou nas últimas décadas, foi possível constatar como consequência desse processo, um aumento insustentável do consumo de energia em contexto urbano onde o sector doméstico surge como principal responsável.

De acordo com as evidências apresentadas ao longo do trabalho no que ao consumo energético diz respeito, constatou-se a existência de várias lacunas que vão desde decisões governamentais ao simples papel do consumidor doméstico.

A alteração deste paradigma vigente nas sociedades actuais deverá ser instada a partir das entidades com competências para uma intervenção profunda.

Foram apresentados no trabalho os vários factores, que a esse nível, deverão ser tidos em consideração de modo a que se consiga romper com os consumos energéticos desajustados.

Essa análise demonstrou ainda que ao nível do planeamento urbano nos deparamos com deficiências quando equacionamos a implementação do conceito de desenvolvimento sustentável aos processos de transformação do território.

Deixou-se explícito que toda e qualquer estratégia de planeamento urbano sustentável deverá ser assente em três pilares: poupança e conservação de energia, eficiência energética e energias renováveis.

Relativamente ao pilar das energias renováveis, verifica-se que Portugal apresenta condições únicas para poder usufruir de qualquer uma das fontes de energia alternativa.

Explorando a maior dessas fontes de que Portugal dispõe (o Sol), desenvolveu-se, para o caso de estudo concreto, um modelo de aproveitamento desta fonte de energia e avaliação da sua viabilidade no quadro do contexto urbano analisado. O estudo recaiu sobre um quarteirão na cidade de Beja, a qual apresenta condições óptimas para a exploração de energia solar, neste caso fotovoltaica.

Foram exploradas ao longo do trabalho algumas das variáveis que deverão ser tidas em consideração em fase de projecto de uma unidade de instalação fotovoltaica para um edifício inserido em ambiente urbano, e que se resumem a:

- Radiação Solar para a latitude e longitude do local
- Orientação das ruas
- Largura das ruas
- Altura das edificações
- Tipologia das edificações
- Pendentes de suporte
- Sombreamentos
- Áreas disponíveis

Para uma análise correcta e dinâmica de todas estas variáveis em simultâneo, recorreu-se ao recurso a um *software* de simulação que permitiu delimitar os elementos (fachadas e coberturas), que se podem considerar como os potenciais receptores dos sistemas de produção de energia fotovoltaica e excluir os elementos que não rentabilizariam o investimento.

Concluiu-se que no caso das coberturas estudadas todas elas apresentavam uma exposição de radiação solar global aceitável, dada a homogeneidade de alturas dos edifícios do quarteirão. Relativamente às fachadas houve necessidade de aplicação de um critério de redução que permitiu excluir as fachadas menos favoráveis ao objectivo pretendido. Este critério teve por base as horas de exposição solar de que cada fachada dispõe, considerando-se como limite 5,5 horas. Verificou-se, por este critério, que todas as fachadas não compreendidas ente Sudoeste e Sudeste foram excluídas por não permitirem assegurar o valor limite.

Uma vez definidos os elementos que poderiam ser considerados como viáveis para implementação de unidades de produção de energia fotovoltaica, iniciou-se o processo de redução de áreas uma vez que o *software Ecotect Analysis*, considerou os edifícios como blocos de paralelepípedos, sem considerar as imperfeições geométricas que em algumas situações muito iriam reduzir as suas áreas disponíveis.

Conhecendo a radiação solar global a que cada elemento estaria exposto e as áreas reais desses elementos, foi possível finalmente estimar a produção anual de energia solar fotovoltaica e que se traduz no Quadro 5.1:

Quadro 5.1 - Balanço energético dos edifícios do quarteirão analisado

Edifício	Necessidades anuais de energia [kWh/ano]	Produções anuais de energia [kWh/ano]
Edifício1	46206	54049,34
Edifício2	27180	32470,5
Edifício3	35334	22559,58
Edifício4	40770	30787,78
Edifício5	32616	22356,91
Edifício6	32616	19207,17
Edifício7	40770	37996,14
Edifício8	46206	46943,5
Edifício9	46206	37553,13
Edifício10	43488	45940,82

O balanço energético dos edifícios revela que apenas 40% destes conseguem alcançar autonomia energética. No entanto, este dado não poderia, por si só, ser considerado excluyente pois tudo depende de filosofia que se pretenda para a solução de produção de energia fotovoltaica.

Para o caso de estudo considerou-se uma filosofia de Microgeração, onde toda a energia produzida seria vendida à rede de distribuição pública. Para esta filosofia, revelou-se rentável o investimento feito com períodos de retorno de investimento que em média rondam os 7 anos.

No Quadro 5.2 é feito um resumo para todos os edifícios, analisando a produção de energia, o investimento feito, o retorno financeiro e o período para liquidar o investimento.

Quadro 5.2 - Resumo financeiro das unidades de Microgeração

Edifício	Produções anuais de energia [kWh/ano]	Investimento [€]	Retorno Financeiro a 25 anos [€]	Período para liquidar o investimento [anos]
Edifício1	54049,34	129134,1	186811	7,5
Edifício2	32470,5	71384,08	118422	6,9
Edifício3	22559,58	56111,03	75761	7,8
Edifício4	30787,78	51231,37	128739	5,2
Edifício5	22356,91	55785,72	74901	7,9
Edifício6	19207,17	34746,22	77529	5,7
Edifício7	37996,14	92896,49	129209	7,7
Edifício8	46943,5	91595,25	182813	6,1
Edifício9	37553,13	92245,87	127270	7,7
Edifício10	45940,82	115145,7	153400	7,9

Por norma os investimentos têm retornos durante os 8 primeiros anos, período em que a tarifa de venda de energia à EDP é maior (0,326 €). A partir deste período a tarifa de venda baixa para os 0,185 €.

Relativamente ao usufruto deste investimento pelos condóminos, apresenta-se no Quadro 5.3 a informação financeira por apartamento.

Quadro 5.3 - Resumo financeiro para condóminos

Edifício	Receita média mensal estimada [€]	Número de Apartamentos	Receita média mensal estimada por apartamento [€]	Investimento total por apartamento [€]
Edifício1	1468	12	120	10761,2
Edifício2	882	8	110	8923
Edifício3	612	10	61	5611,1
Edifício4	836	11	76	4657,4
Edifício5	607	8	75	6973,2
Edifício6	521	8	65	4343,3
Edifício7	1032	8	129	11612,1
Edifício8	1275	12	106	7632,9
Edifício9	1020	12	85	7687,2
Edifício10	1248	8	156	14393,2

Tendo em conta os volumes financeiros de investimento que estão em jogo, os períodos de retorno financeiro são perfeitamente aliciantes. Em termos de valores de retornos globais, para além dos interesses financeiros que sempre prevalecem, é necessário ter-se em conta os valores ambientais

que estão em análise, pelo que os investimentos subjacentes para além de aliciantes devem ser encarados como necessários nos dias de hoje.

Para além dos factores ambientais importa ainda a referir que as tecnologias inerentes à produção de energias renováveis estão em exponencial desenvolvimento, melhorando as suas características cada vez mais. Sendo, portanto, um sector cujo investimento poderá trazer condições óptimas de investimento económico, com o surgimento de novas empresas que potencializem a economia nacional carecida de novas iniciativas e ideias empreendedoras. É sem dúvida um sector de grandes oportunidades, não esquecendo as exigências ecológicas a que os países europeus, e não só, estão sujeitos.

Neste sentido, é possível concluir que a introdução de soluções de produção de energia tendo por base sistemas fotovoltaicos apresenta viabilidade de aplicação a soluções urbanas existentes e a novas áreas urbanas.

O modelo de concepção e execução dos sistemas devem ter em consideração a capacidade de agregação de conjuntos de edifícios que possibilitem a maior rentabilidade de produção de modo a reduzir custos de instalação e aumentar a independência do consumo energético de base fóssil.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Dando continuidade aos estudos efectuados ao longo deste trabalho, algumas áreas poderão ser desenvolvidas como forma de complementaridade e desenvolvimento aprofundado no âmbito de projecto de edifícios de balanço energético neutro.

Foi referido ao longo deste trabalho que a implementação de energias renováveis em contexto urbano não deverá ser de todo pensada como um acto isolado. A definição de desenvolvimento sustentável no sector doméstico é muito mais abrangente.

Começando pelo planeamento urbano, é possível a definição de estratégias urbanísticas que potencializem o rendimento energético dos edifícios quer activa quer passivamente. Ficou por demais evidente no caso de estudo analisado nesta dissertação, que muitos dos edifícios perderam não só área possível para implementação de sistemas de produção de energia solar, como também possibilidade de usufruto de ganhos solares de forma passiva, devido a uma má orientação da malha urbanística. Como é óbvio ambos estão intimamente ligados pois a optimização de uma forma de obtenção de energia (passiva) irá diminuir as necessidades de outra (activo).

Relativamente às habitações, propriamente ditas, muitas análises se podem efectuar por forma a averiguar a eficiência energética dos edifícios em questão, com vista à sua optimização. Verificações como isolamentos térmicos existentes, eficiência dos vãos envidraçados, elementos de sombreamento, ventilação natural, equipamentos e dispositivos de iluminação, entre outros, seriam elementos merecedores de toda a atenção para que assim se minimizem as necessidades energéticas dos edifícios.

Uma vez realizada essa otimização, poderiam então ser estudadas novas estratégias de produção de energia solar fotovoltaica, cujas necessidades já seriam menores, contando com uma melhor e pensada organização de espaços. A partir daí, tornar-se-ia possível colocar em prática uma outra filosofia de produção de energia sem dependência de qualquer outra entidade fornecedora, numa procura da total autonomia energética do quarteirão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia) – *Caracterização Energética Nacional*, 2010. <http://www.dgeg.pt/> (20/02/2012).
- [2] NUNO SOUZA E SILVA - *Por uma utilização mais racional e eficiente de energia*. Instituto Francisco Sá Carneiro, Janeiro de 2010.
- [3] JANET RAMAGE - *Guia da Energia*. Lisboa, Monitor Editora, 1997.
- [4] DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia) – *Energia em Portugal: Principais Números*, 2011. <http://www.dgeg.pt/> (20/02/2012).
- [5] DGEG. Direcção Geral de Energia e Geologia – *Balanço Energético 2009*. <http://www.dgeg.pt/> (20/02/2012).
- [6] INE (Instituto Nacional de Estatística)/DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia) - ICESD. Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico, 2010. <http://www.dgeg.pt/> (23/02/2012).
- [7] International Energy Agency - *World Energy Outlook 2009*, OECD/IEA, Paris, França, 2009.
- [8] International Energy Agency, *World Energy Outlook 2008*, OECD/IEA, Paris, França, citado por Filipe Carreira Serra - *Implementação de Fontes de Energia Renovável em Meio Urbano, O Caso do Bairro da Portela de Sacavem*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Física Tecnológica, Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico, Novembro de 2010.
- [9] República Portuguesa - *Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis ao Abrigo da Directiva 2009/28/CE (PNAER)*, 2009.
- [10] Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento - *Plano Novas Energias ENE2020*, 2010.
- [11] APREN (Associação de Energias Renováveis). <http://www.apren.pt/> (05/03/2012).
- [12] Portal das Energias Renováveis. <http://www.energiasrenovaveis.com/index.asp> (05/03/2012).
- [13] eSOLar Energia. <http://www.esolar.pt/empresa.htm> (07/03/2012).
- [14] DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia). <http://www.dgeg.pt/> (10/03/2012).
- [15] Projecto Enersilva – *Projecto Europeu de Cooperação Inter-regional : Promoção do uso Biomassa Florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa*, 2007.
- [16] ENEOP – Eólicas de Portugal, S.A. <http://www.eneop.pt/index.asp> (15/03/2012).

- [17] RUI M.G. CASTRO – Instituto Superior Técnico: *Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à Energia Eólica*, Janeiro 2003.
- [18] INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial: *Parques Eólicos em Portugal*, Dezembro de 2011.
- [19] ESTANQUEIRO, A. SIMÕES, T. - *Aproveitamento de energia eólica em ambiente urbano e construído*, LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia/UESEO, 2010.
- [20] Comissão Europeia - *PVGIS © European Communities, 2001-2008*, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur_old.htm (28/03/2012).
- [21] Projecto GREENPRO: *Energia Fotovoltaica - Manual Sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*, Janeiro de 2004.
- [22] Projecto GREENPRO: *Energia Solar Térmica - Manual Sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*, Janeiro de 2004.
- [23] ARMSTRONG, S. W.G. HURLEY - *A new methodology to optimise solar energy extraction under cloudy conditions*, National University of Ireland, Galway, Ireland. 2009.
- [24] ANTÓNIO F. O. FALCÃO - Textos de apoio, Instituto Superior Técnico: *Recursos Energéticos Renováveis – Energia Solar (Movimento e posicionamento relativos Terra – Sol)*, 2008.
- [25]. GONÇALVES, H. *et al* - *Os edifícios e a cidade, estudo de avaliação das necessidades energéticas dos edifícios no espaço urbano, o caso da cidade de Lisboa*, Setembro 2004.
- [26] SANTAMOURIS, M. - *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. University of Athens. Earthscan 2001. ISBN 9781873936900.
- [27] JAGER-WALDAU ARNULF - *Photovoltaics and renewable energies in Europe*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. European Commission, Joint Research Centre, RenewableEnergies Unit, Via E. Fermi 1, TP 450, Ispra (VA) I-21020, Italy 2007
- [28] EU (União Europeia) - *Intelligent Energy Europe. Mapping of previous integrated energy approaches. Part of work package no. 2 in the EU INTEND project - task 2.1 EIE-06-021-INTEND*, 2005.
- [29] VETTORATO D. - *Bridging Urban Morphology and Energy Performance Analysis*. 47th ISOCARP Congress, Wuhan - China, 2011.
- [30] ASHRAE Standard 55 - *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, 2004.
- [31] ZEGRAS P C - *Sustainable Urban Mobility: Exploring the Role of the Built Environment. Phd Thesis in Urban and Regional Planning*. Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [32] Energy and Resources - *Sustainable Building Design Manual: Sustainable building design practices*. Institute, Institut Catalá d'Energia, Asia Urbs Programme , 2004.
- [33] MIGUEL PIRES AMADO – *Planeamento Urbano Sustentável*, Edição Caleidoscópio, Casal de Cambra 2005.

- [34] ESTER HIGUERAS – *Urbanismo Bioclimático*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2007.
- [35] RIBEIRO C., *et al* - *Metodologia para análise do sombreamento em centros urbanos*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica da Paraíba- IFPB, 2010.
- [36] ORDÓÑEZ, J. *et al* - *Analysis of the photovoltaic solar energy capacity of residential rooftop sin Andalusia (Spain)*. Department of Civil Engineering, University of Granada, Spain, 2010.
- [37] MACHADO, C., *et al* - Utilização do EVI e Albedo da superfície para análise das mudanças ambientais em parte do município de Corumbá, MS e Ladário, MS. 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11, Novembro 2009.
- [38] Tecnologias do globo. <http://www.tecnologiadoglobo.com/2009/02/diferenca-entre-corrente-alterna-e-corrente-continua/> (21/04/2012).
- [39] TOMÁS PERALES BENITO – *Práticas de Energia Solar Fotovoltaica*, Publindústria, Edições Técnicas, Porto 2010.
- [40] CALEFFI Lda. www.caleffi.it/pt_PT/Technical_brochures/01079/01079.pdf (21/04/2012).
- [41] TOMÁS PERALES BENITO – *Práticas de Energia Solar Térmica*, Publindústria, Edições Técnicas, Porto 2010.
- [42] ENAT (Energias Naturais) – *Energia Solar Térmica* - <http://www.enat.pt/> (30/04/2012).
- [43] SOLARENT – *Solar Water Heaters*. <http://www.solarent.tv/> (02/05/2012).
- [44] NORDMANN, T., *et al*. - Pv system performance and cost analysis. Proceedings of 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, , Milano, Italy, 2007.
- [45] DUFFIE JA. - *Solar engineering of thermal processes*. New York: John Wiley & Sons; 1980.
- [46] HEYWOOD H. - *Operating experience with solar water heating*. *Journal of the Institution of Heating and Ventilation Engineers*, 39, 63-69, 1971.
- [47] LUNDE PJ. - *Solar thermal engineering: space heating and hot water systems*. New York: John Wiley & Sons; 1980.
- [48] CHINNERY DNW. - *Solar water heating in South Africa*. *CSIR Report*, 248:44, 1971.
- [49] LOF GOG, TYBOUT RA. - *Cost of house heating with solar energy*. *Sol. Energy*. Volume 14, issue 3, pp 253–278, 1973.
- [50] GARG HP. - *Treatise on solar energy*. In: *Fundamentals of solar energy*, vol. I. New York: John Wiley & Sons; 1982.
- [51] GUNERHAN H. - *Determination of the optimum tilt of solar collectors for building applications*. *Build Environmental*, 2005.
- [52] KERN J, HARRIS I. - *On the optimum tilt of a solar collector*. *Sol. Energy* 17, 1975.
- [53] HARTLEY LE, MARTINEZ-LOZANO JA. - *The optimisation of the angle of inclination of a solar collector to maximise the incident solar radiation*. *Renew Energy*. Volume 17, Number 3, pp. 291-309(19), 1999.

- [54] YAKUP, M.A.B.H.M., MALIK AQ. - *Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam. Renew Energy.* 24: 223-234, 2001.
- [55] ELMINIR HK. et al. - *Optimum solar flat-plate collector slope: case study for Helwan, Egypt. Energy Conversion and Management.* 47, 624-63, 2006.
- [56] LIU BYH, JORDAN RC. - Daily insolation on surfaces tilted towards the equator. *Trans. ASHRAE J* 1961; 3:53 – 9.
- [57] TEMPS RC, COULSON KL. - *Solar radiation incident upon slopes of diferente orientations. Sol Energy* 1977; 19:179 – 84.
- [58] ELSAYED MM. - *Optimum orientation of absorber plates. Sol Energy*, Sol Energy 1989; 42:89 – 102.
- [59] EBES (Empresa Brasileira de Energia Solar). <http://www.ebes.com.br/web/> (20/05/2012)
- [60] MAX FORDHAM & PARTNERS. - *Photovoltaics in Buildings: A Design Guide' DTI URN: 99/1274*, London, 1999.
- [61] AMADO M., POGGI P. - *Towards Solar Urban Planning: a new step for better energy performance*, SHC 2012. Proceedings.
- [62] IZQUIERDO, S., RODRIGUES,M., FUEYO, N. - *A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. Solar Energy*, 82 (2008) 929-939.
- [63] Ministério das Obras Públicas. Decreto-Lei nº 38.382. *RGEU, Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Diário da República*, Portugal; 1951.
- [64] Grupo Rolear. <http://www.rolear.pt/index.php> (10/08/2012)

ANEXOS

ANEXO I

RADIAÇÃO GLOBAL EM PORTUGAL

Fonte: Projecto ERAMAC citado por Tomás Perales Benito

Wh/m ² /d	Média Diária por Mês												Média Anual
Cidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Beja	2.227	3.022	3.945	5.371	6.433	6.967	7.492	6.817	5.079	3.608	2.552	2.068	4.632
Bragança	1.629	2.527	3.545	4.909	5.869	6.650	7.270	6.436	4.554	3.114	2.057	1.448	4.167
Coimbra	1.849	2.624	3.542	4.882	5.802	6.194	6.700	6.160	4.579	3.236	2.205	1.749	4.127
Évora	2.196	3.000	3.898	5.339	6.480	7.053	7.631	6.958	5.126	3.661	2.538	2.060	4.674
Faro	2.152	2.869	4.101	5.396	6.550	7.192	7.598	7.122	5.221	3.589	2.644	2.157	4.716
Funchal	2.777	3.478	4.629	5.579	6.330	6.180	6.480	6.180	5.179	4.078	2.927	2.577	4.700
Lisboa	2.002	2.866	3.848	5.324	6.383	6.861	7.378	6.758	5.023	3.506	2.427	1.902	4.523
Marinha Grande	1.849	2.669	3.408	4.815	5.910	6.049	6.135	5.563	4.465	3.317	2.129	1.649	3.996
Ponta Delgada	1.974	2.282	3.208	4.604	4.859	5.079	5.154	5.062	4.017	2.952	2.243	1.790	3.602
Portalegre	2.038	2.866	3.834	5.149	6.233	6.844	7.498	6.836	4.846	3.467	2.452	1.988	4.504
Porto	1.743	2.510	3.545	5.060	5.841	6.322	6.661	5.899	4.434	3.169	2.133	1.612	4.076
Santarém	1.857	2.799	3.848	5.379	6.313	7.036	7.509	6.847	4.982	3.497	2.232	1.738	4.503
Vila Real	1.576	2.399	3.375	4.662	5.588	6.299	6.936	6.160	4.376	3.058	1.977	1.390	3.983
Viseu	1.679	2.471	3.372	4.568	5.613	6.383	7.039	6.327	4.509	3.175	2.074	1.651	4.072

ANEXO II

COORDENADAS DE LOCAIS EM PORTUGAL CONTINENTAL

Fonte: Tomás Perales Benito – Práticas de Energia Solar Térmica

Locais	Latitude	Longitude
Aljustrel	37°55'N	08°10'W
Almada	38°40'N	09°09'W
Aveiro	40°37'N	08°38'W
Barrancos	38°10'N	06°58'W
Barreiro	38°40'N	09°06'W
Beja	38°02'N	07°53'W
Braga	41°35'N	08°25'W
Bragança	41°48'N	06°50'W
Caldas da Rainha	39°24'N	09°08'W
Caminha	41°50'N	08°50'W
Carvoeiro, C.	39°21'N	09°24'W
Cascais	38°41'N	09°25'W
Castelo Branco	39°50'N	07°31'W
Chaves	41°45'N	07°32'W
Coimbra	40°15'N	08°27'W
Covilhã	40°17'N	07°31'W
Elvas	38°50'N	0°10'W
Entroncamento	39°28'N	08°28'W
Espichel, C.	38°22'N	09°16'W
Estrela, Serra da	40°10'N	07°45'W
Estremoz	38°51'N	07°39'W
Évora	38°33'N	07°57'W
Faro	37°02'N	07°55'W
Figueira da Foz	40°07'N	08°54'W
Fundão	40°08'N	07°30'W
Guadiana	37°14'N	07°22'W
Guarda	40°32'N	07°20'W
Guimarães	41°28'N	08°24'W
Lagos	37°05'N	08°41'W
Lamego	41°05'N	07°52'W
Leiria	39°46'N	08°53'W
Lima	41°41'N	08°50'W

Locais	Latitude	Longitude
Lisboa	38°42'N	09°10'W
Loulé	37°09'N	08°0'W
Mafra	38°55'N	09°20'W
Matosinhos	41°11'N	08°42'W
Mértola	37°40'N	07°40'W
Miranda do Douro	41°30'N	06°16'W
Monchique	37°19'N	08°38'W
Montijo	38°41'N	08°54'W
Moura	38°07'N	07°30'W
Olhão	37°03'N	07°48'W
Peniche	39°19'N	09°22'W
Pinhel	40°50'N	07°01'W
Pombal	39°55'N	08°40'W
Portalegre	39°19'N	07°25'W
Portimão	37°08'N	08°32'W
Porto	41°08'N	08°40'W
Póvoa de Varzim	41°25'N	08°46'W
Roca, C.	38°40'N	09°31'W
Santarém	39°12'N	08°42'W
S. João da Madeira	40°54'N	08°30'W
Setúbal	38°30'N	08°58'W
Setúbal, B.	38°40'N	08°56'W
Sines	37°58'N	08°53'W
Sintra	38°47'N	09°25'W
Torre de Moncorvo	41°12'N	07°08'W
Viana do Alentejo	38°17'N	07°59'W
Vila do Bispo	37°05'N	08°53'W
Vila Nova de Gaia	41°08'N	08°37'W
Vila Real	41°17'N	07°48'W
Viseu	40°40'N	07°55'W
Vouga	40°41'N	08°40'W
Zêzere	39°28'N	08°20'W

ANEXO III

REPORT NUMÉRICO DA 1ª SIMULAÇÃO ECOTECH

Report para análise das coberturas:

Edifício	Elemento	Área [m²]	Horas médias diárias de exposição solar [h]	Percentagem de exposição [%]	Percentagem de sombreamento [%]
1	Cobertura	365,44	9,56	100,00	0.000
2	Cobertura	279,93	9,56	100,00	0.000
3	Cobertura	190,32	9,56	100,00	0.000
4	Cobertura	364,35	9,56	100,00	0.000
5	Cobertura	192,76	9,56	100,00	0.000
6	Cobertura	272,77	9,56	100,00	0.000
7	Cobertura	340,83	9,56	100,00	0.000
8	Cobertura	335,65	9,56	100,00	0.000
9	Cobertura	329,59	9,56	100,00	0.000
10	Cobertura	320,25	9,56	100,00	0.000
Σ TOTAL		2991,87	95,56	1000,00	0,00
MÁX		365,44	9,56	100,00	0,00
MÍN		190,32	9,56	100,00	0,00
MÉDIA		299,19	9,56	100,00	0,00

Report para análise das fachadas:

Edifício	Identificação do elemento	Tipo de elemento	Área [m2]	Horas médias diárias de exposição solar [h]	Percentagem de exposição [%]	Percentagem de sombreamento [%]
1	66	Fachada	207,87	8,10	84,79	15,21
	67	Fachada	398,44	3,46	36,22	63,78
	69	Fachada	395,40	6,07	63,50	36,50
2	72	Fachada	55,51	0,88	9,19	90,81
	73	Fachada	67,04	0,27	2,86	97,14
	75	Fachada	265,74	0,70	7,28	92,72
	76	Fachada	235,96	6,07	63,50	36,50
3	80	Fachada	229,31	6,32	66,17	33,83
	82	Fachada	214,79	1,82	19,05	80,95
4	86	Fachada	75,41	0,31	3,25	96,75
	87	Fachada	76,01	0,32	3,35	96,65
	89	Fachada	75,88	1,00	10,43	89,57
	90	Fachada	88,17	0,23	2,42	97,58
	92	Fachada	350,51	0,60	6,24	93,76
5	96	Fachada	224,01	6,15	64,34	35,67
	98	Fachada	224,07	2,04	21,39	78,61
6	102	Fachada	71,70	0,32	3,29	96,71
	103	Fachada	58,82	0,44	4,57	95,43
	105	Fachada	220,09	0,73	7,65	92,35
	106	Fachada	20,19	1,03	10,74	89,26
	107	Fachada	18,60	0,70	7,33	92,67
	108	Fachada	233,91	1,05	10,97	89,03
7	112	Fachada	396,36	5,91	61,85	38,15
	114	Fachada	388,07	2,91	30,42	69,58
8	118	Fachada	390,00	6,11	63,96	36,04
	119	Fachada	193,64	7,22	75,60	24,41
	120	Fachada	390,00	2,90	30,38	69,62
	121	Fachada	193,64	0,24	2,48	97,52
9	124	Fachada	394,56	5,80	60,67	39,33
	125	Fachada	185,40	1,20	12,54	87,46
	126	Fachada	402,65	3,19	33,33	66,67
	127	Fachada	186,94	0,21	2,20	97,80
10	130	Fachada	390,01	6,47	67,66	32,34
	131	Fachada	184,12	7,46	78,04	21,96
	132	Fachada	390,02	3,21	33,56	66,44
	133	Fachada	185,40	0,21	2,20	97,80
Σ TOTAL			8078,18	96,08	1005,37	2594,63
MAX			402,65	8,10	84,79	97,80
MIN			18,60	0,21	2,20	15,21
MÉDIA			224,39	2,67	27,93	72,07

ANEXO IV

REPORT NUMÉRICO DA 2ª SIMULAÇÃO *ECOTECH*

Report para analisar as coberturas:

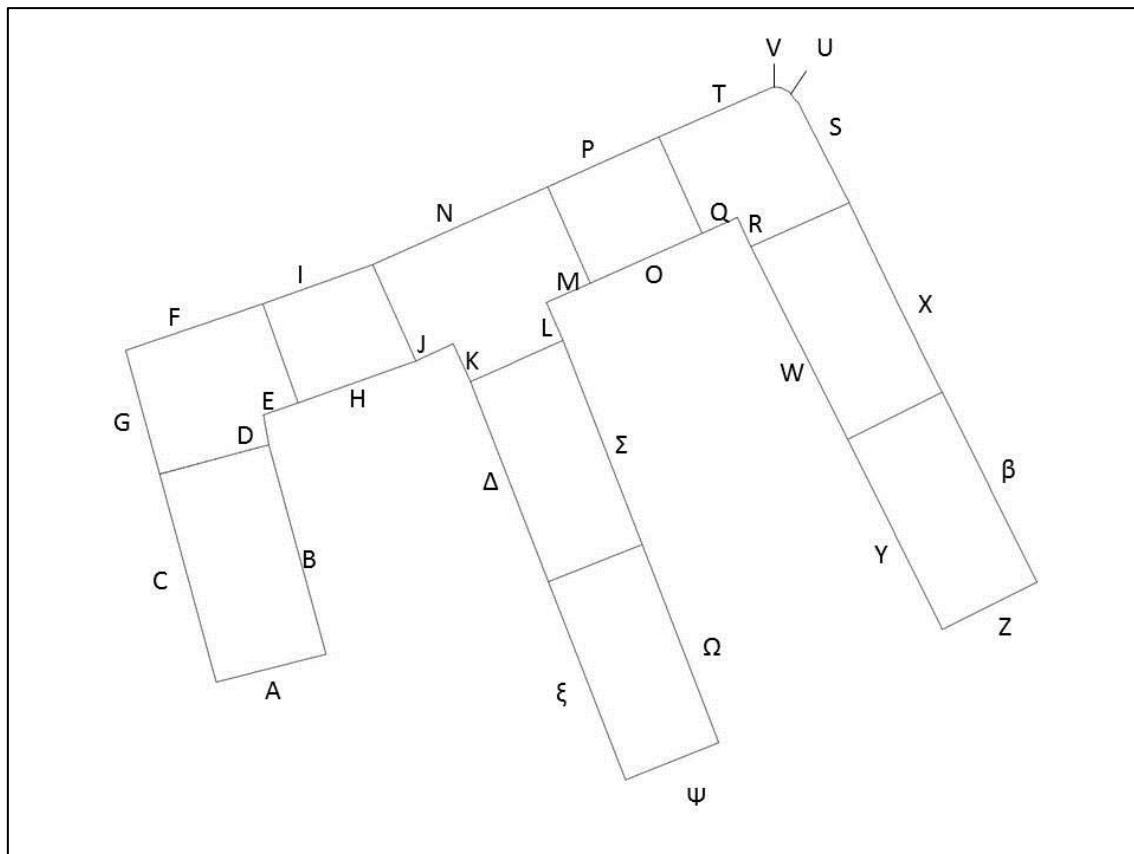
Edifício	Elemento	Área [m2]	Radiação global média diária [Wh/m2]	Radiação directa média diária [Wh/m2]	Radiação difusa média diária [Wh/m2]
1	Cobertura	365,44	4.413,44	2.644,45	1.768,99
2	Cobertura	279,93	4.335,87	2.600,90	1.734,97
3	Cobertura	190,32	4.301,50	2.583,54	1.717,96
4	Cobertura	364,35	4.301,50	2.583,54	1.717,96
5	Cobertura	192,76	4.301,50	2.583,54	1.717,96
6	Cobertura	272,77	4.301,50	2.583,54	1.717,96
7	Cobertura	340,83	4.335,87	2.600,90	1.734,97
8	Cobertura	335,65	4.413,44	2.644,45	1.768,99
9	Cobertura	329,59	4.413,44	2.644,45	1.768,99
10	Cobertura	320,25	4.413,44	2.644,45	1.768,99
ΣTOTAL		2.991,87	43.531,46	26.113,76	17.417,70
MÁX		365,44	4.413,44	2.644,45	1.768,99
MÍN		190,32	4.301,50	2.583,54	1.717,96
MÉDIA		299,19	4.353,15	2.611,38	1.741,77

Report para análise das fachadas:

Edifício	Identificação do elemento	Elemento	Área [m2]	Radiação global média diária [Wh/m2]	Radiação directa média diária [Wh/m2]	Radiação difusa média diária [Wh/m2]
1	66	Fachada	207,87	2377,32	1560,86	816,46
	67	Fachada	398,44	1240,51	560,13	680,38
	69	Fachada	395,40	1902,65	1086,20	816,46
2	72	Fachada	55,51	429,05	156,90	272,15
	73	Fachada	67,04	287,49	15,34	272,15
	75	Fachada	265,74	361,10	139,97	221,12
	76	Fachada	235,96	411,36	88,18	323,18
3	80	Fachada	229,31	2078,27	1380,88	697,39
	82	Fachada	214,79	902,82	86,37	816,46
4	86	Fachada	75,41	292,33	20,17	272,15
	87	Fachada	76,01	289,26	51,12	238,13
	89	Fachada	75,88	437,73	182,59	255,14
	90	Fachada	88,17	252,09	13,96	238,13
	92	Fachada	350,51	341,70	120,58	221,12
5	96	Fachada	224,01	2040,47	1360,09	680,38
	98	Fachada	224,07	929,86	113,41	816,46
6	102	Fachada	71,70	292,59	20,44	272,15
	103	Fachada	58,82	341,59	69,44	272,15
	105	Fachada	220,09	368,88	130,75	238,13
	106	Fachada	20,19	242,95	55,85	187,11
	107	Fachada	18,60	236,55	49,44	187,10
	108	Fachada	233,91	469,91	214,77	255,14
7	112	Fachada	396,36	1812,30	1131,92	680,38
	114	Fachada	388,07	1266,63	450,18	816,46
8	118	Fachada	390,00	1888,18	1139,76	748,42
	119	Fachada	193,64	2295,43	1478,98	816,46
	120	Fachada	390,00	1261,77	445,31	816,46
9	124	Fachada	394,56	1812,18	1097,78	714,40
	126	Fachada	402,65	1178,37	480,98	697,39
10	130	Fachada	390,01	1946,43	1146,98	799,45
	131	Fachada	184,12	2321,81	1505,35	816,46
	132	Fachada	390,02	1229,85	481,43	748,42
Σ TOTAL			7326,82	33539,41	16836,10	16703,31
MAX			402,65	2377,32	1560,86	816,46
MIN			18,60	236,55	13,96	187,10
MÉDIA			228,96	1048,11	526,13	521,98

ANEXO V

ESQUEMA DE IDENTIFICAÇÃO DOS NÚMEROS DAS FACHADAS GERADAS PELO *ECOTECT*



Legenda	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nº atribuído pelo Ecotect	66	67	69	72	73	75	76	80	82	86

Legenda	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Nº atribuído pelo Ecotect	87	89	90	92	96	98	102	103	105	108

Legenda	U	V	W	X	Y	Z	β	Δ	Σ	ξ	Ψ	Ω
Nº atribuído pelo Ecotect	106	107	112	114	118	119	120	124	126	130	131	132

ANEXO VI

ENERGIA PRODUZIDA POR CADA ELEMENTO DOS DEZ EDIFÍCIOS DO QUARTEIRÃO

Edifício	ID	Elemento	Área [m2]	Radiação global média diária [Wh/m2]	Área x Radiação	Produção de energia (PV=PRxηx(EgxAx364)/1000)[KWh/ano]	Produção global por edifício [KWh/ano]
Edifício 1	-	Cobertura	168,10	4413,44	741904,96	26402,54	54049,34
	66	Fachada	155,90	2.377,32	370626,5653	27646,79	
	69	Fachada	213,51	1.902,65	406241,5073		
Edifício 2	-	Cobertura	154,52	4335,87	669984,22	23843,06	32470,50
	76	Fachada	127,42	1.902,65	242428,7639	8627,433634	
Edifício 3	-	Cobertura	87,54	4301,50	376573,95	13401,33	22559,58
	80	Fachada	123,83	2.078,27	257344,6499	9158,252728	
Edifício 4	-	Cobertura	201,12	4301,50	865128,96	30787,78	30787,78
Edifício 5	-	Cobertura	88,67	4301,50	381401,95	13573,14	22356,91
	96	Fachada	120,96	2.040,47	246821,6204	8783,764416	
Edifício 6	-	Cobertura	125,47	4301,50	539716,75	19207,17	19207,17
Edifício 7	-	Cobertura	156,78	4335,87	679791,17	24192,07	37996,14
	112	Fachada	214,03	1.812,30	387891,0566	13804,07298	
Edifício 8	-	Cobertura	154,40	4413,44	681423,86	24250,17	46943,50
	118	Fachada	210,60	1.888,18	397651,3064	22693,32687	
	119	Fachada	104,57	2.295,43	240025,5988		
Edifício 9	-	Cobertura	151,61	4413,44	669127,06	23812,56	37553,13
	124	Fachada	213,06	1.812,18	386106,7808	13740,57506	
Edifício 10	-	Cobertura	147,31	4413,44	650157,06	23137,46	45940,82
	130	Fachada	210,60	1.946,43	409923,622	22803,35679	
	131	Fachada	99,42	2.321,81	230845,0972		
Σ Total							349864,86
Média							34986,49

ANEXO VII

ORÇAMENTOS DETALHADOS PARA CADA EDIFÍCIO

EDIFÍCIO 1				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	348	59160 €
Inversor	Sunzet 75 TP T	9750 €/un	1	9750 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	348	17539,2 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA -16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		17497.84 €
VALOR GLOBAL				104987,04 €
IVA 23%				24147,02 €
TOTAL				129134,06 €

EDIFÍCIO 2				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	183	31110 €
Inversor	Sunzet 30 TP T	6990 €/un	1	6990 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	183	9223,2 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		9672,64 €
VALOR GLOBAL				58035,84 €
IVA 23%				13348,24€
TOTAL				71384,08 €

EDIFÍCIO 3				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	139	23630 €
Inversor	Sunzet 25 TP T	6340 €/un	1	2135 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	139	7005,6 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		7603,12 €
VALOR GLOBAL				45618,72 €
IVA 23%				10492,31 €
TOTAL				56111,03 €

EDIFÍCIO 4				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	124	21080 €
Inversor	Sunzet 25 TP T	6340 €/un	1	6340 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	124	6249,6 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA -16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		6941,92 €
VALOR GLOBAL				41651,92 €
IVA 23%				9579,85 €
TOTAL				51231,37 €

EDIFÍCIO 5				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	138	23460 €
Inversor	Sunzet 25 TP T	6340 €/un	1	6340 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	138	6955,2 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		7559,04 €
VALOR GLOBAL				45354,04 €
IVA 23%				10431,5 €
TOTAL				55785,72 €

EDIFÍCIO 6				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	77	13090 €
Inversor	TripleLynx Pro + 15 kW	5530 €/un	1	5530 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	77	3880,8 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		4708,16 €
VALOR GLOBAL				28248,16 €
IVA 23%				6497,26 €
TOTAL				34746,22 €

EDIFÍCIO 7				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	245	41650 €
Inversor	Sunzet 50 TP T	7900 €/un	1	7900 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	245	12348 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		12587,6 €
VALOR GLOBAL				75525,6 €
IVA 23%				17370,9 €
TOTAL				92896,49 €

EDIFÍCIO 8				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	241	40970 €
Inversor	Sunzet 50 TP T	7900 €/un	1	7900 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	241	12146,4 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		12411,28 €
VALOR GLOBAL				74467,68 €
IVA 23%				17128 €
TOTAL				91595,25 €

EDIFÍCIO 9				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	243	41310 €
Inversor	Sunzet 50 TP T	7900 €/un	1	7900 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	243	12247,2 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		12499,44 €
VALOR GLOBAL				74996,64 €
IVA 23%				17249 €
TOTAL				92245,87 €

EDIFÍCIO 10				
Equipamento	Designação	Preço Unitário	Quantidade	Preço Ponderado
Módulos Fotovoltaicos	Martifer Solar PV modules 210p	170 €/un	305	51850 €
Inversor	Sunzet 75 TP T	9750 €/un	1	9750 €
Contador	Contador siemens Landis + GYR (Modem GSM)	515 €/un	1	515 €
Estrutura de Suporte	Sistema de fixação Intersol	0,24 €/Wp	305	15372 €
Equipamento Básico de Instalação	Cabos AC e DC; Quadro de protecção AC 300mA - 16A	525€/edificio	1	525 €
Mão de Obra		20% Custo total		15602,4 €
VALOR GLOBAL				93614,4 €
IVA 23%				21531 €
TOTAL				115145,71 €